

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number : 2000-113418

(43) Date of publication of application : 21.04.2000

(51) Int.CI.

G11B 5/39

(21) Application number : 10-280099

(71) Applicant : HITACHI LTD

(22) Date of filing : 01.10.1998

(72) Inventor : NISHIOKA KOICHI

TAJIMA YASUNARI

IMAGAWA TAKAO

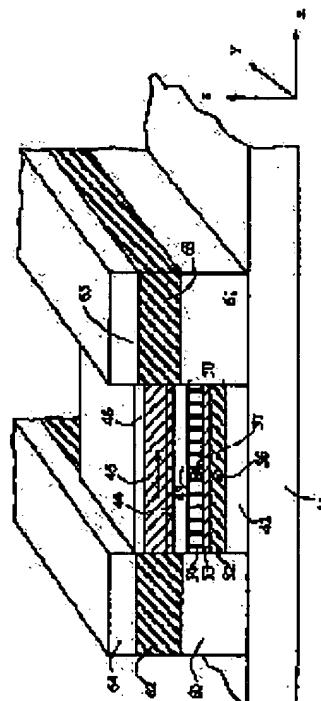
NARUSHIGE SHINJI

## (54) MAGNETO-RESISTIVE HEAD BASED ON SPIN VALVE EFFECT AND MAGNETIC RECORDING AND REPRODUCING DEVICE USING THE SAME

### (57) Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a spin valve sensor or head of high sensitivity which is stable to large external magnetic fields, has no antiferroelectric exchange bond layers and has laminated Fourier fixed layers.

**SOLUTION:** The second ferromagnetic layers of the magneto-resistive head based on the spin valve effect having first ferromagnetic layers 44 and 45 and second ferromagnetic layers and conductive and nonmagnetic spacer layers 43 between the first and second ferromagnetic layers are composed of two sheets of ferromagnetic films A52 and ferromagnetic films B54 which are antiferromagnetically bonded to each other and antiferromagnetic films 53 for separating two sheets of the ferromagnetic films A52 and B54. The induction magnetic anisotropy constants of the ferromagnetic films A52 and the ferromagnetic films B54 are specified to  $\geq 2 \times 10^3$  (J/m<sup>3</sup>) and the saturated magnetostriction constants of the ferromagnetic films A52 and the ferromagnetic films B54 are specified to positive values. The compositions of the ferromagnetic films A52 and the ferromagnetic films B54 may be composed of Co<sub>100</sub>-Y-ZFe<sub>2</sub>YNi<sub>2</sub> (at%) Y $\geq 5$  Z $\leq 20$



Y+Z≤70.

---

**LEGAL STATUS**

[Date of request for examination] 21.11.2001

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

JP 2000-113418

## \* NOTICES \*

Japan Patent Office is not responsible for any  
damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

## CLAIMS

## [Claim(s)]

[Claim 1] The 1st ferromagnetic layer which is comparatively easy to answer to a field, and the 2nd ferromagnetic layer which cannot answer comparatively easily to a field, In the magneto-resistive effect mold head based on the spin bulb effectiveness of having a conductive nonmagnetic spacer layer between said 1st ferromagnetic layer and said 2nd ferromagnetic layer said 2nd ferromagnetic layer The ferromagnetic A of two sheets by which antiferromagnetism association was carried out mutually and Ferromagnetic B, and the antiferromagnetism joint film which separates said ferromagnetics A and B of two sheets, since -- the magneto-resistive effect mold head which is constituted and is characterized by for the induced-magnetic-anisotropy constant of said Ferromagnetic A and Ferromagnetic B being more than  $2 \times 10^3$  (J/m<sup>3</sup>), and the saturation magnetostriction constant of said Ferromagnetic A and Ferromagnetic B being a forward value.

[Claim 2] The 1st ferromagnetic layer which is comparatively easy to answer to a field, and the 2nd ferromagnetic layer which cannot answer comparatively easily to a field, In the magneto-resistive effect mold head based on the spin bulb effectiveness of having a conductive nonmagnetic spacer layer between said 1st ferromagnetic layer and said 2nd ferromagnetic layer said 2nd ferromagnetic layer the ferromagnetic A of two sheets by which antiferromagnetism association was carried out mutually and Ferromagnetic B, and the antiferromagnetism joint film which separates said ferromagnetics A and B of two sheets -- since -- it constitutes -- having -- the presentation of said Ferromagnetic A and Ferromagnetic B -- Co<sub>100</sub>-Y-ZFeYNiZ (at%)

Y>=5Z<=20 Y+Z<=70 it is -- magneto-resistive effect mold head characterized by things.

[Claim 3] The 1st ferromagnetic layer which is comparatively easy to answer to a field, and the 2nd ferromagnetic layer which cannot answer comparatively easily to a field, In the magneto-resistive effect mold head based on the spin bulb effectiveness of having a conductive nonmagnetic spacer layer between said 1st ferromagnetic layer and said 2nd ferromagnetic layer said 2nd ferromagnetic layer the ferromagnetic A of two sheets by which antiferromagnetism association was carried out mutually and Ferromagnetic B, and the antiferromagnetism joint film which separates said ferromagnetics A and B of two sheets -- since -- it constitutes -- having -- the presentation of said Ferromagnetic A and Ferromagnetic B -- Co<sub>100</sub>-Y-ZFeYNiZ (at%)

Y>=5Z<=20 Y+Z<=70 it is -- magneto-resistive effect mold head characterized by adding a kind of Nb, Zr, Ti, Hf, Ta, W, Mo, V, Cr, AlPt, and Pd, Ir, Rh, Ru, Au(s), Ag or Cu(s), or the element of the class beyond it to said presentation.

[Claim 4] The 1st ferromagnetic layer which is comparatively easy to answer to a field, and the 2nd ferromagnetic layer which cannot answer comparatively easily to a field, In the magneto-resistive effect mold head based on the spin bulb effectiveness of having a conductive nonmagnetic spacer layer between said 1st ferromagnetic layer and said 2nd ferromagnetic layer said 2nd ferromagnetic layer the ferromagnetic A of two sheets by which antiferromagnetism association was carried out mutually and Ferromagnetic B, and the antiferromagnetism joint film which separates said ferromagnetics A and B of two sheets -- since -- it constitutes -- having -- the presentation of said Ferromagnetic A and

**Ferromagnetic B -- Co100-Y-ZFeYNiZ (at%)**

$Y>=5Z<=20$   $Y+Z<=70$  it is -- magneto-resistive effect mold head characterized by adding a kind of aluminum oxide, a zirconic acid ghost, a tantalic acid ghost, a titanic-acid ghost, hafnium oxide, a niobic acid ghost, a chromic-acid ghost, a tungstic-acid ghost, molybdenum oxide, and the banazin san ghosts, or the oxide of the class beyond it to said presentation.

[Claim 5] Two ferromagnetics A by which were formed on the substrate and antiferromagnetism association was carried out mutually, and Ferromagnetic B the antiferromagnetism joint film which separates said two ferromagnetics A and B by the film surface -- since -- with the becoming laminating ferry fixed bed The nonmagnetic spacer layer adjoined and formed in the ferromagnetic B of said laminating ferry fixed bed by the film surface, The ferromagnetic layer which has the soft magnetic characteristics which adjoined and were formed in said nonmagnetic spacer layer by the film surface, Co radical permanent magnet film which has the substrate film formed so that the spin bulb film processed into the fixed configuration which consists of said laminating ferry fixed bed, said nonmagnetic spacer layer, and said ferromagnetic layer might be adjoined in a film cross section, It is a magneto-resistive effect mold head based on the spin bulb effectiveness equipped with the electrode layer which adjoins said permanent magnet film by the film surface. The magneto-resistive effect mold head characterized by for the induced-magnetic-anisotropy constant of said Ferromagnetic A and Ferromagnetic B being more than  $2 \times 10^3$  (J/m<sup>3</sup>), and the saturation magnetostriction constant of said Ferromagnetic A and Ferromagnetic B being a forward value.

[Claim 6] A substrate, the ferromagnetic layer which has the soft magnetic characteristics formed on said substrate, and the nonmagnetic spacer layer adjoined and formed in the ferromagnetic which has said soft magnetic characteristics by the film surface, the antiferromagnetism joint film which separates the ferromagnetic A which adjoins by said nonmagnetic spacer layer and film surface, said ferromagnetic A, the ferromagnetic B which carries out switched connection in antiferromagnetism, and said Ferromagnetic A and Ferromagnetic B by the film surface -- since -- with the becoming laminating ferry fixed bed Co radical permanent magnet film which has the substrate film formed so that the spin bulb film processed into the fixed configuration which consists of said ferromagnetic layer, said nonmagnetic spacer layer, and said laminating ferry fixed bed might be adjoined in a film cross section, It is a magneto-resistive effect mold head based on the spin bulb effectiveness equipped with the electrode layer which adjoins said permanent magnet film by the film surface. The magneto-resistive effect mold head characterized by for the induced-magnetic-anisotropy constant of said Ferromagnetic A and Ferromagnetic B being more than  $2 \times 10^3$  (J/m<sup>3</sup>), and the saturation magnetostriction constant of said Ferromagnetic A and Ferromagnetic B being a forward value.

[Claim 7] Two ferromagnetics A by which were formed on the substrate and antiferromagnetism association was carried out mutually, and Ferromagnetic B the antiferromagnetism joint film which separates said two ferromagnetics A and B by the film surface -- since -- with the becoming laminating ferry fixed bed The nonmagnetic spacer layer adjoined and formed in the ferromagnetic B of said laminating ferry fixed bed by the film surface, The ferromagnetic layer which has the soft magnetic characteristics which adjoined and were formed in said nonmagnetic spacer layer by the film surface, Co radical permanent magnet film which has the substrate film formed so that the spin bulb film processed into the fixed configuration which consists of said laminating ferry fixed bed, said nonmagnetic spacer layer, and said ferromagnetic layer might be adjoined in a film cross section, It is a magneto-resistive effect mold head based on the spin bulb effectiveness equipped with the electrode layer which adjoins said permanent magnet film by the film surface. The switched connection field Hex of two ferromagnetics of said laminating ferry fixed bed which carry out antiferromagnetism association mutually is made sufficiently larger than the coercive force Hc of said permanent magnet film. The field H in the case of magnetization of said permanent magnet as  $Hc < H < Hex$  The magneto-resistive effect mold head characterized by carrying out field impression at spin bulb film surface inboard parallel to the confrontation side of a magnetic-recording medium; and magnetizing the permanent magnet film.

[Claim 8] The magnetic recorder and reproducing device characterized by reading a magneto-resistive effect mold head according to claim 1 or 2, using as a head, writing in the magnetic-induction mold head

separated from said magneto-resistive effect mold head with magnetic shielding, using as a head, writing in with said read-out head, and delivering and receiving the information on a magnetic-recording medium by the head.

---

[Translation done.]

JP 2000-113418

## \* NOTICES \*

Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

---

## DETAILED DESCRIPTION

---

### [Detailed Description of the Invention]

#### [0001]

[Field of the Invention] It is related with the magnetic-reluctance (MR) sensor based on the magnetic-reluctance (MR) effectiveness mold head based on the spin bulb effectiveness, the magnetic recorder and reproducing device using this head, and the spin bulb effectiveness.

#### [0002]

[Description of the Prior Art] recent years -- a magnetic recording medium -- densification -- following -- playback -- \*\* -- a sensor -- \*\*\*\* -- different -- the direction ---like -- a magneto-resistive effect -- having used -- magnetic reluctance -- ( -- MR -- ) -- a sensor -- from -- huge -- magnetic reluctance (GMR) -- effectiveness -- having applied -- spin -- a bulb -- a mold -- magnetic reluctance -- a sensor -- shifting -- while . The spin bulb sensor is indicated by the U.S. Pat. No. 5159513 number specification.

[0003] The essential description of a spin bulb mold magnetic-reluctance sensor The ferromagnetic layer called the fixed bed (Pinned layer) and the ferromagnetic soft magnetism layer called a free layer (Free layer), The conductive layer which adjoined two-layer [ these ] directly and was inserted into it, and the switched connection layer which contacts the fixed bed directly with a basic configuration (namely, multilayer configuration of the sequence of a free layer, a conductive layer, the fixed bed, and a switched connection layer) It has a vertical bias layer for impressing the vertical bias field for controlling the electrode which leads a current to these layers, and the noise resulting from the heterogeneity of the free layer magnetization called a Barkhausen noise (Barkhausen Noise). This sensor is formed in the minute space (it is called a magnetic gap) across which it usually faces with two ferromagnetics called magnetic shielding, and reproduces the magnetization signal of a record medium by the high resolution.

[0004] Magnetization is being fixed to the record-medium confrontation side and the perpendicular direction, and the fixed bed does not change the magnetization direction easily to an external magnetic field. Free layer magnetization produces magnetic-reluctance change by producing change on the square which fixed-bed magnetization and free layer magnetization make in order to change the sense according to the field from a record medium. The principle of operation of a spin bulb mold head reproduces this resistance change as a signal.

[0005] An antiferromagnetism ingredient is usually used for a switched connection layer, and it is required as an antiferromagnetism ingredient for the switched connection field given to the fixed bed in the operational temperature range of a sensor to be large enough. As an antiferromagnetism ingredient known until now, although there are nickel oxide (NiO), an iron-manganese alloy (FeMn), a nickel manganese alloy (NiMn), etc., since nickel oxide and an iron-manganese alloy have the temperature (blocking temperature) comparable as the sensor temperature at the time of actuation of a magnetic recording medium to which switched connection disappears, they do not bear practical use. Moreover, although a nickel manganese alloy is [ a switched connection property ] equal to practical use enough, in order to acquire this property, heat treatment of long duration is required of the elevated temperature of 240-degree more than Centigrade, diffusion of other ingredients to a free layer arises between this heat

treatment, and disadvantageous profit that a magneto-resistive effect decreases is produced.

[0006] As shown in a U.S. Pat. No. 5583752 number specification under such a demand, the spin bulb structure of a type where switched connection layers, such as above-mentioned nickel oxide, are not made to adjoin the fixed bed is proposed using two ferromagnetics (it is hereafter called laminating ferry mold structure) combined in [ it is strong and ] antiferromagnetism on both sides of the film of Ru as the fixed bed. In the example in this specification, using Co as two ferromagnetics, after carrying out the laminating of all the film, determining the magnetization direction of the fixed bed is mentioned.

[0007] Moreover, the examination result of the laminating ferry fixed-bed spin bulb which used Cr for the substrate and adopted Ru as antiferromagnetism joint film, using Co as a ferromagnetic is a journal. OBIA pride FIJIKUSU It is reported to pp 3720-3723 of volume 83.

[0008]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] However, when ferromagnetic Co film of a simple substance was used according to examination of this invention persons, the easy direction of magnetization was set as the medium confrontation side and the perpendicular direction, and it turned out that it is difficult to fix magnetization. Since it being hard to give the induced magnetic anisotropy by the field since Co film's is film of a single element, and the saturation magnetostriction constant of Co film are not suitable values, the reason is because the magnetic anisotropy by the magnetoelastic effect is not given to a medium confrontation side and a perpendicular direction. Moreover, although opting for magnetization of the fixed bed is describing by the well-known example after carrying out the laminating of all the film, if the field which saturates the fixed bed tends to be impressed and it is going to arrange magnetization after carrying out the laminating of all the film, in case a field is removed, the fixed bed forms magnetic-domain structure, contrary to the purpose, the homogeneity of magnetization will get worse and spin bulb \*\*\*\*\* will be degraded.

[0009] Moreover, Cr is used for a substrate, and using Co as a ferromagnetic, by the laminating ferry mold fixed-bed spin bulb which adopted Ru as antiferromagnetism joint film, since the coercive force of a free layer is as large as 50 oersted extent, it is thought that it is not suitable for practical use. Since Co on Cr substrate is close to hcp structure, this is considered for the field which a magnetic pole produces in a film surface since the crystal magnetic anisotropy varies at random in a field greatly, and is produced from these magnetic poles to have a bad influence on the magnetization course of a free layer.

[0010] The purpose of this invention is offering the technique of arranging with an one direction magnetization of the fixed bed of the spin bulb mold sensor which has the laminating ferry mold fixed bed without a switched connection layer, or the magnetic head, and realizing a high increase in power.

[0011]

[Means for Solving the Problem] In order to solve said technical problem, this invention mainly adopts the following configurations.

[0012] The 1st ferromagnetic layer which is comparatively easy to answer to a field, and the 2nd ferromagnetic layer which cannot answer comparatively easily to a field, In the magneto-resistive effect mold head based on the spin bulb effectiveness of having a conductive nonmagnetic spacer layer between said 1st ferromagnetic layer and said 2nd ferromagnetic layer said 2nd ferromagnetic layer The ferromagnetic A of two sheets by which antiferromagnetism association was carried out mutually and Ferromagnetic B, and the antiferromagnetism joint film which separates said ferromagnetics A and B of two sheets, since -- the magneto-resistive effect mold head whose saturation magnetostriction constant of said Ferromagnetic A and Ferromagnetic B it is constituted, and the induced-magnetic-anisotropy constant of said Ferromagnetic A and Ferromagnetic B is more than  $2 \times 10^3$  (J/m<sup>3</sup>), and is a forward value.

[0013] Moreover, the 1st ferromagnetic layer which is comparatively easy to answer to a field and the 2nd ferromagnetic layer which cannot answer comparatively easily to a field, In the magneto-resistive effect mold head based on the spin bulb effectiveness of having a conductive nonmagnetic spacer layer between said 1st ferromagnetic layer and said 2nd ferromagnetic layer said 2nd ferromagnetic layer the ferromagnetic A of two sheets by which antiferromagnetism association was carried out mutually and Ferromagnetic B, and the antiferromagnetism joint film which separates said ferromagnetics A and B of

two sheets -- since -- it constitutes -- having -- the presentation of said Ferromagnetic A and Ferromagnetic B -- Co100-Y-ZFeYNiZ (at%)

Y>=5Z<=20 Y+Z<=70 it is -- magneto-resistive effect mold head characterized by things.

[0014]

[Embodiment of the Invention] Hereafter, the operation gestalt of this invention is explained to a detail using a drawing.

[0015] Although "operation gestalt 1" this invention is widely applicable in order to detect an external magnetic field, information is to be especially useful as a read-out head for information record and an ejection system (as a sensor), and to be recorded as an array of the magnetic domain on a magnetic medium there. As a magnetic medium, what kind of thing may be used, for example, there are a magnetic tape, a magnetic drum, one or more hard disks, one, or one or more floppy disks. A magnetic domain accompanies a truck, is arranged and usually has the thing of a circle, a curled form, a swirl, or indeterminate length as a configuration of a truck.

[0016] An example of typical information record and ejection equipment is shown in drawing 1 . A general-purpose computer 1 receives input through the input unit 2 with one or two or more interfaces between the things of a network, a keyboard, a scanner, or these. In addition to connection with one or two or more input units, a computer can be outputted to one or two or more output units. The network and printer which are connected with a computer through an interface as this output unit, an indicating equipment, or a modem can be considered. In addition to other recording devices relevant to a computer 1, a computer writes information in the magnetic recording medium 4 which is a peripheral device, or reads information from a magnetic recording medium. The magnetic recording medium contains the following interior equipment.

[0017] (1) Control unit 5 : an information signal is written in, it outputs to a head 7, information is inputted from the read-out head 8, and the I/O section 6 of the data for receiving the feedback signal from a head is included further.

[0018] (2) Head position control section 9 : output a head position control signal and input a head location detecting signal.

[0019] (3) Motor control section 10 : output a roll control signal to the motor 11 made to rotate the magnetic medium 13 of one or more disk molds by the shaft 12 in the case of this operation gestalt by controlling actuation of the rate about relative movement to the head of a magnetic medium, a halt, initiation, etc. The transducer which became independent respectively and which writes in, reads with a head 7 and has a head 8 usually moves to radial [ of a disk ] using the connection arm 14 and a voice coil motor (VCM) 15 so that it may contact whether it melts disk 13, or few gaps may be maintained and a it top may be risen to surface.

[0020] As mentioned above, the data recorder shown in drawing 1 is typical strictly. Since actuation of the equipment shown in drawing 1 is obvious, the detail is not explained here. This invention has the description in the configuration of the read-out head 8 of drawing 1 . It reads to drawing 2 and the concrete structure of a head 8 is shown. According to drawing 1 and drawing 2 , having the movement direction 14 of a relative record medium is shown to the read-out head 8 by which some magnetic media 13 run relatively along with the Z-axis. In order that VCM15 may be read relatively and may access the truck of a head and a magnetic domain, while moving along with the X-axis, the truck of a magnetic domain usually moves along with the Z-axis which adjoined the read-out head. The magnetic substance 13 has two or more magnetic domains along the truck of Z shaft orientations, and the field h changes along with the Y-axis of a read-out head, when VCM15 moves relatively along with the Z-axis. Moreover, fluctuation of this field is read.

[0021] Although it reads with the write-in head 7, a head 8 consists of two or more layers and a part of the configuration is shown in drawing 2 , some some layers are not illustrated from the former, such as a binder course and a passivation layer. After preparing the substrate 16 first in the production process and making shielding 17 deposit on it next, read on it further, grow up a sensor 18, finally read the electrode 19 for read-out current inputs, the electrode 20 for current outputs is made to deposit on it, it reads as one, and a head is formed.

[0022] Furthermore, up shielding or the lower core 21 (the lower core is making up magnetic shielding serve a double purpose) is made to deposit, next, a coil 22 is made to deposit and the up magnetic core 24 is formed on it. For example, it is more desirable to form the dielectric layer 23 which consists of an alumina between the sensor film 18 and the lower shielding 17 and between the sensor film 18 and up shielding. The permanent magnet film 31 and 32 which gives a vertical bias field is arranged at both the sides of the spin bulb film 18 which is read-out sensor film.

[0023] What deposited the film of a dielectric on the ceramics or the ceramics can be used for a substrate 16. Co radical amorphous ingredient in which a permalloy, Sendust, and soft magnetism are shown, or the ferromagnetic ingredient of a microcrystal system in which soft magnetism is shown can be used for the upper part and the lower magnetic shielding 21 and 17.

[0024] Generally the structure shown in drawing 2 adopted with this operation gestalt is a known thing, and the operation gestalt of this invention is related with the configuration and its formation approach of the read-out sensor 18. Here, a read-out head is the configuration of having been suitable for delivering and receiving information on a magnetic medium, and a read-out sensor is the configuration of having been suitable for detecting the field of not only the information from a magnetic medium but the exterior.

[0025] Although the concrete configuration of the read-out sensor applied to the operation gestalt of this invention at drawing 8 is shown and the detail is later mentioned with "the operation gestalt 4" When it explains with reference to the configuration of drawing 8, the spin bulb film 18 The 1st ferromagnetic layer which is comparatively easy to answer to a field (it is equivalent to a free layer, a call 44, for example, Co film, and the permalloy film 45 hereafter), It has a conductive nonmagnetic spacer layer (for example, it is equivalent to the Cu film 43) between the 2nd ferromagnetic layer (it is equivalent to the fixed bed, and a call and the laminating ferry fixed bed 50 hereafter) which cannot answer comparatively easily to a field, and these.

[0026] With this operation gestalt, the configuration as which the laminating ferry mold fixed bed 50 which used the antiferromagnetism joint film (for example, it is equivalent to the Ru film 53) between two ferromagnetics (for example, it is equivalent to a ferromagnetic A52 and a ferromagnetic B54) and these ferromagnetics (52 and 54) functions on the fixed bed 50 as a spin bulb mold read-out head for using for a magnetic recording medium is given.

[0027] The anisotropy field of two ferromagnetics which constitute this influences the stability of magnetization of the laminating ferry mold fixed bed 50. In order to calculate the suitable value of an anisotropy field, the magnetic-reluctance curve of the spin bulb film {ferromagnetic A (4.0nm) / Ru (0.6nm) / ferromagnetic B(3.5nm)/Cu / free layer (7.0nm)} which made the thickness difference of two ferromagnetics of the laminating ferry mold fixed bed 50 the value (0.5nm) of sufficiently controllable finite was calculated by having changed the anisotropy field of Ferromagnetic A and Ferromagnetic B.

[0028] Here, each ferromagnetic presupposed that simultaneous rotation (coherent rotation) is carried out, respectively, and set the saturation magnetization of a free layer, Ferromagnetic A, and Ferromagnetic B to 1.00 (T), 1.71 (T), and 1.71 (T) as a typical value of the spin bulb sensor film, respectively.

[0029] Moreover, it is the switched connection energy between  $J_{ex}=-1.12 \times 10^{-3} \text{ J/m}^2$  (switched connection field  $H_{ex}**192 \text{ kA/m}$ ), and a free layer and Ferromagnetic B in the anisotropy field of a free layer as a typical value of the spin bulb sensor film about the switched connection energy between 400 (A/m), and Ferromagnetic A and Ferromagnetic B  $J_{int}=7.2 \times 10^{-6} \text{ J/m}^2$  (referred to as joint field  $H_{int}=1040 \text{ (A/m)}$  between layers.) Moreover, each ferromagnetic presupposed that the uniaxial magnetic anisotropy which has an easy shaft in the one direction (direction which intersects perpendicularly with a record-medium confrontation side) is provided. A permalloy is assumed in a free layer and the charge of Co base material is assumed to two ferromagnetics here.

[0030] The calculated magnetic-reluctance curves are the minor loop of maximum field 4.8 kA/m (value which carries out an abbreviation equivalent to the strength of the average on the sensor film 18 of the field from the magnetic medium by which information was recorded) at the time of impressing a field to the easy shaft of the fixed bed, and the major loop formation of maximum field 80 kA/m (value which

carries out an abbreviation equivalent to the maximum in the medium opposed face of the sensor film 18 of the field from the magnetic medium by which information was recorded).

[0031] A count result is shown in drawing 3.  $H_k$  of drawing 3 is the magnitude of each anisotropy field of Ferromagnetics A and B, and is a value equivalent to anisotropy constant  $2 \times 103 \text{ J/m}^3$  which the 3rd step of anisotropy field  $2.4 \text{ kA/m}$  of drawing 3 mentions later. Moreover, minor loop  $4.8 \text{ kA/m}$  includes the magnetic field strength from a magnetic medium, and major loop-formation  $80 \text{ kA/m}$  includes the maximum in the medium opposed face of the sensor film 18 of the field from a record medium.

[0032] It is  $800 \text{ (A/m)}$ , and change is not looked at by the minor loop and the anisotropy field  $H_k$  of the independent film of Ferromagnetics A and B does not function as a sensor which detects a minute field, when smaller than the layer joint field  $H_{int1040}$ .

[0033] The independent anisotropy field  $H_k$  of Ferromagnetics A and B is  $1.6 \text{ (kA/m)}$ , and when larger than the layer joint field  $H_{int1040} \text{ (A/m)}$ , a steep change has arisen in the minor loop and it functions as a sensor (for example, magnetic head which detects the information on a magnetic medium) which detects a minute field. Moreover, by the major loop formation, a steep resistance change is produced in the about  $32 \text{ (kA/m)}$  neighborhood, and the flux reversal of the laminating ferry fixed bed has happened by this external magnetic field. Since the field of a maximum of  $40 \text{ (kA/m)}$  extent is added by the sensor surfacing side side, a magnetic recording medium is not enough as the stability of the fixed bed as sensor film for magnetic recording media (magnetic head) in fixed-bed magnetization being reversed by the field of  $32 \text{ kA/m}$ .

[0034] When the independent anisotropy field  $H_k$  of Ferromagnetics A and B is as large as  $2.4 \text{ (kA/m)}$  (field equivalent to the anisotropy constant  $2 \times 103 \text{ (J/m}^3)$  mentioned later), magnetization change of the laminating ferry fixed bed which a steep change arises in a minor loop, and is seen by the major loop formation is as large as  $48 \text{ (kA/m)}$ , and also to a big external magnetic field, the fixed bed is stable and it has function sufficient as sensor film of a magnetic recording medium.

[0035] Furthermore, when the independent anisotropy field  $H_k$  of Ferromagnetics A and B is as large as  $8 \text{ (kA/m)}$ , a steep change arises in a minor loop, and change is not accepted in a major loop formation other than resistance change of the shape of a step in a minute field, and laminating ferry fixed-bed magnetization is not reversed by the field below  $80 \text{ (kA/m)}$ , either. Therefore, it has function sufficient as sensor film of a magnetic recording medium.

[0036] Although the above result makes the same the independent anisotropy field of both the ferromagnetics of the laminating ferry fixed bed, when the anisotropy fields of both ferromagnetics generally differ, in order to function as a minute field sensor, it is necessary to satisfy the following relation.

[0037]

$$Ms_f H_{intf} < Ms_1 H_k 1 t_1 + Ms_2 H_k 2 t_2 \dots (1)$$

Here  $Ms_f$ ,  $Ms_1$ , and  $Ms_2$  are the saturation magnetization of a free layer, Ferromagnetic A, and Ferromagnetic B, respectively,  $H_{int}$ , and  $H_k 1$  and  $H_k 2$  are anisotropy fields with respectively independent a free layer, Ferromagnetic A, and Ferromagnetic B, and  $t_f$ ,  $t_1$ , and  $t_2$  are the thickness of a free layer, Ferromagnetic A, and Ferromagnetic B, respectively.

[0038] moreover -- general -- the laminating ferry fixed bed -- the maximum field from a record medium -- receiving -- being stable -- it is necessary to satisfy the following relation

[0039]

$$40 \text{ (kA/m)} < (Ms_1 H_k 1 t_1 + Ms_2 H_k 2 t_2) / |Ms_1 t_1 - Ms_2 t_2| \dots (2)$$

Therefore, the smaller one of the direction [ it is large ] is [ the difference of the magnetic moment of both ferromagnetics ] good [ the independent anisotropy field of each ferromagnetic of the laminating ferry fixed bed ].

[0040] As an element which determines the magnetic-anisotropy field of a ferromagnetic, there are a crystal magnetic anisotropy, induced magnetic anisotropy, and a magnetoelastic effect (Magnetoelastic Effect). A crystal magnetic anisotropy is [ among these ] difficult for arranging an anisotropy with one shaft by the film which has the crystal which carried out orientation to the random of polycrystal. moreover, the thing for which an atomic local array produces induced magnetic anisotropy towards the

magnetization at the time of membrane formation or heat treatment -- it can obtain and uniaxial magnetic anisotropy is given. Furthermore, a magnetoelastic effect is decided by the different direction-stress and the saturation magnetostriction constant of the magnetic substance which join the magnetic substance, and gives uniaxial magnetic anisotropy under existence of optically uniaxial different direction-stress.

[0041] Since the sensor film is polycrystal which turns to random bearing within a film surface, controllable thing magnetic anisotropies are induced magnetic anisotropy and an anisotropy by the magnetoelastic effect on a process. So, with this operation gestalt, the crystal magnetic anisotropy of a ferromagnetic with difficult control is made as small as possible, and an anisotropy field is controlled by induced magnetic anisotropy and the anisotropy by the magnetoelastic effect.

[0042] It has the alumina film used as the base on the substrate of an alumina-titanium carbide. It has the magnetic gap inserted with two ferromagnetics called magnetic shielding on it. The spin bulb sensor of a configuration of consisting of ferromagnetic A (2-5nm) / Ru (0.6nm) / ferromagnetic B(2-5nm)/Cu / a free layer (1-10nm) in a magnetic gap is included. In the magnetic head which has a recording head element on magnetic shielding, the optically uniaxial stress of hauling joins the spin bulb sensor film to a record-medium confrontation side and a perpendicular direction. Since magnetization should be fixed in the direction in which a record-medium confrontation side and magnetization of the fixed bed cross at right angles, the saturation magnetostriction constant of a ferromagnetic should just be carried out.

[0043] In order to make a crystal magnetic anisotropy small, the structure is made into face-centered cubic (fcc) structure or body center cubic (bcc) structure by using a ferromagnetic as Co alloy film, and using the suitable substrate film. The crystal structure is made into face centered cubic structure or body-centered cubic structure because the symmetric property to the crystal magnetic anisotropy is small. The concrete example about the element and substrate film for alloying is mentioned later.

[0044] Moreover, control of induced magnetic anisotropy adds Fe, nickel, etc. to Co, and can realize induced magnetic anisotropy by things greatly by atomic pair ordering. If a ferromagnetic is constituted from a Co independent, induced magnetic anisotropy cannot be enlarged, but induced magnetic anisotropy can be enlarged by adding Fe and nickel to Co.

[0045] Moreover, control of a magnetoelastic effect is realizable by adding Fe, nickel, etc. to control of an alloy presentation of a ferromagnetic, i.e., Co.

[0046] As spin bulb film which used Co for the ferromagnetic of the "operation gestalt 2" laminating ferry fixed bed About the presentation and thickness, glass substrate / CoX/Ru0.6/Co(X-0.5)/Cu2.3/Co1/NiFe5/Ta3 (nm), the (former), And a total of eight kinds of film was created [ the glass substrate / Ta5// /CoX/Ru0.6/Co(X-0.5)/Cu2.3/Co1/ NiFe5/Ta3 (nm) (latter) film ] for Thickness X as 3, 4, 5, and 7. At the time of Co membrane formation, the field was impressed in the one direction.

[0047] The example of a magnetic-reluctance curve is indicated to be (C) of drawing 4 to (D). These are the magnetic-reluctance curves of the configuration of the former in X= 4 (nothing [ substrate ]), and the latter (Ta substrate). The field at the time of measurement was made into the same direction as the field impressed at the time of membrane formation.

[0048] Resistance change of the shape of a step near a zero field with the big curve of (C) and (D) is not accepted, and is not desirable as a magnetic-reluctance sensor. When Co thickness X is set to 3, 5, and 7, similarly, a desirable magnetic-reluctance change is not accepted but it is difficult for the pure Co film to use as a ferromagnetic of the laminating ferry fixed bed. This cause is because the pure Co film's having small induced magnetic anisotropy for a single element and the magnetostriction constant are not suitable.

[0049] Then, in order to make it generated in the direction of an impression field at the time of membrane formation, suitable induced magnetic anisotropy moreover, the spin bulb film (glass substrate / CoX/Ru0.6/Co(X-0.5)/Cu2.3/Co1/NiFe5/Ta -- 3 nm (X= 3, 4, 5, 7)) which used the ferromagnetic of the laminating ferry fixed bed as the CoFe alloy in order to make a magnetostriction constant forward And the glass substrate / Ta5/CoX/Ru0.6/Co(X-0.5)/Cu2.3/Co1/NiFe5/Ta3nm film (X= 3, 4, 5, 7) was created, and the magnetic-reluctance curve was measured. The field was impressed to the one direction as similarly at the time of membrane formation as the point, and the field was

impressed in the direction at the time of measurement.

[0050] As a result, an example is indicated to be (A) of drawing 4 to (B). (A) is glass substrate / Ta5/CoFe4/Ru0.6/CoFe3.5/Cu2.3/Co1/NiFe5.0/Ta3 (nm), and (B of a film configuration) is glass substrate / CoFe4/Ru0.6/CoFe3.5/Cu2.3/Co1/NiFe5.0/Ta3nm. The remainder of the presentation of the CoFe film is Co at Fe10at% here. The magnetic-reluctance curve is changing on a step by the small field near a zero field, and shows the engine performance desirable as a magnetic-reluctance sensor. Near the zero field shows resistance change on the step similarly by the spin bulb film by which the CoFe thickness of X= 3, and 5 and 7 differs, and it is desirable as a magnetic-reluctance sensor.

[0051] Although the thickness dependency of the coercive force of the direction of an easy axis of Co and CoFe of a Fe14at% presentation is shown in drawing 5, and coercive force is about 1.6 (kA/m) in Co, coercive force is as large as 4 to 4.8 (kA/m) in CoFe. By adding Fe, change of such coercive force is because induced anisotropy energy increased, and the increment in the magnetic anisotropy by Fe addition stabilized fixed-bed magnetization, and it has given the desirable property as a magnetic-reluctance sensor. Although the example of a 14at%Fe presentation was shown here, the induced-magnetic-anisotropy constant which increases Fe presentation further increases, and takes max near Co-Fe50wt%.

[0052] Therefore, it is still more effective to increase Fe presentation further. Moreover, although anisotropy energy falls, since there is effectiveness which makes distribution of an anisotropy small and makes a skew small, addition of nickel makes laminating ferry fixed-bed magnetization homogeneity, and a certain amount of addition has the work which enlarges a magneto-resistive effect.

[0053] As a result of changing variously the presentation of the ferromagnetic which constitutes the fixed bed for the spin bulb which has the laminating ferry fixed bed, it turned out that it is desirable to satisfy the following presentation.

[0054]

Co100-Y-ZFeYNiZ (at%) (3)

Y>=5 (4)

Z<=20 (5)

Y+Z<=70 (6)

Moreover, it has the effectiveness which increases the coercive force of a ferromagnetic by adding a kind of Pt, Pd, Ir, Rh, Ru, Au, Ag, and the Cu(s), or more than it into these alloys. Increase of coercive force is also effective in increasing the stability over the external magnetic field of the laminating ferry fixed bed. In this presentation, it is more than 2x103 (J/m3) about the anisotropy constant by induced magnetic anisotropy, and has become forward about the saturation magnetostriction constant.

[0055] The ferromagnetic A of the direction which does not touch Cu among the ferromagnetics of the fixed bed of the spin bulb sensor film using the "operation gestalt 3" laminating ferry fixed bed does not contribute to magnetic-reluctance change. Therefore, the current which flows this is a shunt current which does not influence magnetic-reluctance change, and decreases magnetic-reluctance change.

Therefore, it is better to make small the current which flows to Ferromagnetic A as much as possible. The ferromagnetic of above-mentioned (3) - (6) type presentation has specific resistance as small as about 0.3 micromegam, and its shunt current is large. If the current (it is uninfluential in magnetic-reluctance change current) which flows to Ferromagnetic A among all the currents that flow from an electrode is large, a magneto-resistive effect will become small.

[0056] ferromagnetic A(4nm)/Ru (0.6nm) / ferromagnetic B(3.5nm)/Cu(2.3nm)/NiFe (7nm) -- if the ratio of a current to the whole current which flows a ferromagnetic B(3.5nm)/Cu/NiFe (7nm) layer is defined as a splitting ratio by the configuration film, a splitting ratio is proportional to the output of a sensor. (3) A splitting ratio is set to about 0.7 when the film of -(6) type presentation is used for Ferromagnetic A and Ferromagnetic B. If specific resistance of Ferromagnetic A is enlarged with 3micromegam here, a splitting ratio will be set to about 0.9 and the output of a sensor will increase about 30%. Even if the specific resistance of Ferromagnetic A serves as 2micromegam, a splitting ratio is set to 0.85, and a sensor output increases about 20%.

[0057] the alloy specified by formula (3) - (6) as an approach of increasing the specific resistance of the

ferromagnetic of the laminating ferry fixed bed -- Nb, Zr, Ti, Hf, Ta, W, Mo, V, Cr, and aluminum -- \*\* -- it is adding an inner kind or more than it. A splitting ratio becomes large by this and a sensor output increases as a result. The work of these elements which makes structure of an ingredient amorphous is also strong, and since specific resistance of an amorphous substance is large, it is also effective to use an amorphous ingredient as a ferromagnetic of the fixed bed.

[0058] Moreover, as an approach of increasing further the specific resistance of the ferromagnetic of the laminating ferry fixed bed, the ferromagnetic which adds a kind of aluminum oxide, a zirconic acid ghost, a tantalic acid ghost, a titanic-acid ghost, hafnium oxide, a niobic acid ghost, a chromic-acid ghost, a tungstic-acid ghost, molybdenum oxide, and the banazin san ghosts or the oxide of the class beyond it into the alloy specified by formula (3) - (6), and is obtained can be used. Addition of these oxides can enlarge specific resistance up to two (microomegam) extent by addition of an about [ 10mol% ], and can perform improvement in an output of a sensor.

[0059] The laminating ferry fixed-bed spin bulb of a configuration of being shown below on the substrate which formed the alumina film on "operation gestalt 4" glass was created, and the stability over the external magnetic field of the fixed bed was evaluated. The configuration is (A) substrate / Ta5/CoFeX/Ru0.6/CoFe(X-0.5)/Cu2.3/Co1.0/NiFe5/Ta3(nm) (B) substrate / CoFeX/Ru0.6/CoFe(X-0.5)/Cu2.3/Co1/NiFe5/Ta3 (nm), and changed the thickness of CoFe.

[0060] Here, Fe presentation of the CoFe film is Fe14at%, and is Remainder Co. RF magnetron sputtering performed creation of a sample. In fixed-bed magnetization and the rectangular direction, the field was impressed and this spin bulb fixed-bed stability was investigated.

[0061] Magnetic-reluctance change of the spin bulb film after field impression is set to drawing 6, an axis of abscissa is set as the impression field Hdc, and it is shown. Magnetic-reluctance change of an axis of ordinate is as a result of a minor loop (measurement field 60 Oe). By the spin bulb which has Ta substrate, even if it impresses the field of 320 kA/m by X= 3nm, the magnetic reluctance of a spin bulb does not change, but if magnetization of 360 kA/m is impressed, resistance change of the magnetic-reluctance curve of a spin bulb will decrease to 50%, and the sensor film will receive damage.

[0062] Reduction of this resistance change is for the fixed bed to change to multi-magnetic-domain (multipledomains) structure after strong field impression. The field from which a sensor receives damage decreases with 240 kA/m, 200 kA/m, and 136 kA/m, if X becomes large with 4nm, 5nm, and 7nm.

[0063] Although the CoFe thickness dependency of the antiferromagnetism-switched connection field Hex between the ferromagnetic A of the fixed bed and Ferromagnetic B is shown in drawing 7, in X= 3nm, it is [ at Hex=336 kA/m and X= 4nm / in Hex=232 kA/m and X= 5nm ] Hex=128 kA/m in Hex=160 kA/m and X= 7nm. When this value is almost the same as the field which receives the damage on above-mentioned and the external magnetic field exceeding a switched connection field is impressed, it turns out that the sensor film receives damage. In order to enlarge the field which receives damage, it is desirable to enlarge the switched connection field between Ferromagnetic A and Ferromagnetic B. As an approach of enlarging a switched connection field further, there are an approach of optimizing Ru thickness (0.4-0.5nm) and the approach of making Ferromagnetics A and B thin.

[0064] By the spin bulb (B) put on the free layer bottom, the fixed bed without Ta substrate The field which receives damage so that drawing 6 may show By X= 4nm, if compared by Hex=280 kA/m and X= 5nm at the same thickness as a result in case it is Hex=160 kA/m and there is a Ta substrate by Hex=224 kA/m and X= 7nm Compared with the case where Ta substrate has a direction in case there is no Ta substrate, the field which receives damage is large. This is because the switched connection field Hex is large compared with the case where Ta substrate has a direction in case there is no Ta substrate, as drawing 7 shows.

[0065] The configuration of a desirable sensor is shown in drawing 8 . Although a sensor is formed in the space where the sensor film was inserted into two magnetic shielding, drawing 8 has omitted and described magnetic shielding. With this operation gestalt, the substrate film Ta film 42 is formed on the insulator layer 41 formed between magnetic shielding. As this film, two or more sorts of alloy film can also be used for others in [ these ] Ti, Hf, Zr, W, V, Nb, Ru, Os, and Ir film. Moreover, this film is also

omissible. If these film is used, there is effectiveness which enlarges induced magnetic anisotropy of Ferromagnetics A and B, and a magneto-resistive effect can be enlarged, without spoiling the engine performance of the laminating ferry fixed bed.

[0066] Besides, the thickness [ X / Fe presentation 14at% of ] (nm) CoFe film 52 is formed as a ferromagnetic A. At the time of formation, an one direction field is carried out in the direction of y impression 56, and a magnetic anisotropy is guided to it. The ingredient stated by "operation gestalt 2" - "the operation gestalt 3" instead of CoFe as an ingredient of this film can also be used. Next, the Ru film 53 below thickness 1 (nm) is formed.

[0067] Next, the thickness Y [ Fe presentation 10at% of ] (nm) CoFe film 54 is formed as a ferromagnetic B. Also at this time, an one direction field is made to be the same as that of the time of forming 52 in the direction of y impression 57. The ingredient stated by "operation gestalt 2" - "the operation gestalt 3" instead of CoFe as an ingredient of this film can also be used. The laminating ferry fixed bed 50 consists of a ferromagnetic A52, Ru film 53, and a ferromagnetic B54.

[0068] Next, the Cu film 43 of 2.0-3.5nm of thickness is formed. Au and Ag can also be used instead of Cu as an ingredient of this film.

[0069] Next, the Co film 44 of 2.0nm or less of thickness is formed. CoFe and the CoFeNi alloy film can also be used instead of Co as an ingredient of this film. Next, the permalloy (Fe presentation 10 - 30at% NiFe alloy) film 45 of 10nm or less of thickness is formed. Next, the cap layer 46 which consists of Ta of 5nm or less of thickness is formed.

[0070] As a cap layer 46, ingredients other than Ta, for example, Ru, Pd, Pt, Au, Ag, Cu, Ir, and Rh, and two or more sorts of alloys of these can also be used. These film is created for example, by the RF magnetron sputtering method in the same vacuum. The substrate film 60 and 61 which becomes both the sides of the spin bulb film which consists of these [ 42, 52, 53, 54, 43, 44, 45, and 46 ] from Cr is formed, and the permanent magnet film 62 and 63 of Co radical is created on it.

[0071] Furthermore, the electrode layers 64 and 65 for leading a current to the spin bulb film are formed on it. Here, CoCrPt, CoPt, or CoCrTa is used as permanent magnet film. Moreover, even if there is no substrate film, when giving sufficient coercive force like Co-ZrO<sub>2</sub>, Cr substrate film can also be omitted. The permanent magnet film needs to impress and magnetize a field in the direction of an arrow head of 45 after completion of a sensor.

[0072] Here, if the antiferromagnetism-joint field of the laminating ferry fixed bed 50 is set to Hex, coercive force of the permanent magnet film is set to Hc and the impression field of the net which joins a component in the case of magnetization is set to H, a net impression field needs to satisfy the following relation.

[0073]

Hc < H < Hex .... (5)

Therefore, it is necessary to design Hex sufficiently greatly compared with the coercive force of a permanent magnet. Usually, since 80 kA/m - 160 kA/m is used as coercive force of the permanent magnet film, as Hex, 200 or more kA/m is needed. In order to satisfy this, when using the spin bulb film which has Ta substrate for the thickness X of Ferromagnetic A in 5.5nm or less when using the spin bulb sensor film without Ta substrate, it is necessary to set thickness X of Ferromagnetic A to 4.5nm or less.

[0074] moreover, when using the same ingredient as Ferromagnetic A and Ferromagnetic B, thickness Y of Ferromagnetic B is made thinner than the thickness X of Ferromagnetic A with a thickness difference 1nm or less -- it is desirable. This is to rotate that the field energy of magnetization of Ferromagnetic B should be stabilized at the telophase of membrane formation of Ferromagnetic B, and for fixed-bed magnetization to separate from the direction of desired, when the ferromagnetic B becomes thick from Ferromagnetic A.

[0075] The configuration of another sensor is shown in "operation gestalt 5" drawing 9. Although a sensor is formed in the space where the sensor film was inserted into two magnetic shielding, this Fig. has omitted and described magnetic shielding. With this operation gestalt, the substrate film Ta film 72 is formed on the alumina film 71 formed between magnetic shielding. As this film, two or more sorts of

alloy film can also be used for others in [ these ] Ti, Hf, Zr, W, V, Nb, Ru, Os, and Ir film. Besides, the permalloy (Fe presentation 10 - 30at% NiFe alloy) film 75 of 10nm or less of thickness is formed.

[0076] Next, the Co film 74 of 2nm or less of thickness is formed. CoFe and the CoFeNi alloy film can also be used instead of Co as an ingredient of this film. Next, the Cu film 73 of 2.0-3.5nm of thickness is formed. Au and Ag can also be used instead of Cu as an ingredient of this film. Next, the thickness [ X / Fe presentation 14at% of ] (nm) CoFe film 82 is formed as a ferromagnetic A. At the time of formation, an one direction field is impressed in the direction of y, and a magnetic anisotropy is guided. The ingredient stated with "the operation gestalt 2" and the "operation gestalt 3" instead of CoFe as an ingredient of this film can also be used.

[0077] Next, the Ru film 83 below thickness 1 (nm) is formed. Next, the thickness Y [ Fe presentation 14at% of ] (nm) CoFe film 84 is formed. An one direction field is impressed in the direction of y like the time of forming 82 also at this time. The ingredient stated with "the operation gestalt 2" and the "operation gestalt 3" instead of CoFe as an ingredient of this film can also be used. Next, the cap layer 76 which consists of Ta of 5nm or less of thickness is formed. As a cap layer, ingredients other than Ta, for example, Ru, Pd, Pt, Au, Ag, Cu, Ir, and Rh, and two or more sorts of alloys of these can also be used.

[0078] These film is created for example, by the RF magnetron sputtering method in the same vacuum. The substrate film 90 and 91 which becomes both the sides of the spin bulb film which consists of these [ 72, 82, 83, 84, 73, 74, 75, and 76 ] from Cr is formed, and the permanent magnet film 92 and 93 of Co radical is created on it.

[0079] Furthermore, the electrode layers 94 and 95 for leading a current to the spin bulb film are formed on it. Here, CoCrPt, CoPt, CoCrTa, etc. are used as permanent magnet film. Moreover, even if there is no substrate film, when giving sufficient coercive force like Co-ZrO<sub>2</sub>, Cr substrate film can also be omitted. Moreover, it is necessary to make the switched connection field Hex larger than the coercive force of the permanent magnet film like the operation gestalt 4. moreover, also in this operation gestalt, like the operation gestalt 4, when using the same ingredient as Ferromagnetic A and Ferromagnetic B, thickness Y of Ferromagnetic B is made thinner than the thickness X of the ferromagnetic A which forms membranes previously with a thickness difference 1nm or less -- it is desirable.

[0080] As mentioned above, although various operation gestalten were explained about this invention, when this is adjusted, what does so the following configurations, an operation, or a function is contained as an operation gestalt of this invention.

[0081] It is desirable to set fixed-bed magnetization as a medium confrontation side perpendicular with a spin bulb sensor or a head. Therefore, at the time of membrane formation, field impression is carried out and the easy axis of a ferromagnetic is set as a medium confrontation side perpendicular direction.

Magnitude of an anisotropy constant Ku is carried out to more than 2x10<sup>3</sup> (J/m<sup>3</sup>). And the saturation magnetostriction constant of a ferromagnetic is just carried out. Moreover, the magnetic pole produced in a fixed-bed side is made small by making the crystal magnetic anisotropy of a ferromagnetic small.

[0082] In order to make a crystal magnetic anisotropy small, to control the anisotropy constant by induced magnetic anisotropy more than 2x10<sup>3</sup> (J/m<sup>3</sup>) and to just carry out a saturation magnetostriction constant, a ferromagnetic is used as the alloy film containing Co, and the presentation is considered as the presentation with which are satisfied of a degree type. That is, if the following presentation is adopted as a configuration, the above-mentioned function will be satisfied.

[0083] Co100-Y-ZFeYNiZ (at%)

An easy axis is set as a medium confrontation side perpendicular direction by impressing the field at the time of membrane formation of  $Y \geq 5Z \leq 20$   $Y+Z \leq 70$  and the spin bulb film in the direction of 10 (it being perpendicularly to a medium opposed face). Two to 4 times of the anisotropy field of a simple substance ferromagnetic, i.e.,  $2 Ku/Ms$ , are suitable for the magnitude of a field. Here, Ms is the saturation magnetization of a ferromagnetic. Moreover, the film which forms membranes at the point of two ferromagnetics is made to some extent thicker than the thickness of the film which forms membranes later.

[0084] Further the output of a sensor as an approach of increasing Moreover, the inside of two

ferromagnetics of the laminating ferry fixed bed, The ingredient of the ferromagnetic of the one distant from a free layer at least to the above-mentioned CoNiFe alloy presentation Let a kind of Nb, Zr, Ti, Hf, Ta, W, Mo, V, Cr, AlPt, and Pd, Ir, Rh, Ru, Au(s), Ag or Cu(s), or the element of the class beyond it be the ferromagnetic ingredient added and obtained.

[0085] It is using the ferromagnetic which adds a kind of aluminum oxide, a zirconic acid ghost, a tantalic acid ghost, a titanic-acid ghost, hafnium oxide, a niobic acid ghost, a chromic-acid ghost, a tungstic-acid ghost, molybdenum oxide, and the banazin san ghosts, or the oxide of the class beyond it to the above-mentioned CoNiFe alloy presentation, and is obtained as an option which increases a sensor output further. Addition of these oxides can enlarge specific resistance up to two (microomegam) extent by addition of an about [ 10mol% ], and can perform improvement in an output of a sensor.

[0086] Moreover, after removing a field if the ferromagnetic of the laminating ferry fixed bed carries out magnetic saturation in case the field for magnetizing the permanent magnet film is added, when preparing the permanent magnet film which gives vertical bias to both the sides of the spin bulb film, in order that a free layer may carry out magnetic-domain control, in order for the fixed bed to form many magnetic domains, the problem that the sensibility of a sensor falls is.

[0087] In order to avoid many magnetic-domains-ization of such the fixed bed, it is desirable to make sufficiently larger than the coercive force  $H_c$  of the permanent magnet film the switched connection field  $Hex$  of two ferromagnetics of the laminating ferry fixed bed which carry out antiferromagnetism association mutually, and to make the field  $H$  of the net except the anti-field in the case of magnetization of a permanent magnet into  $H_c < H < Hex$ . For that purpose, in order to enlarge  $Hex$  as much as possible, it is desirable to make thickness of Ferromagnetics A and B thin. In the configuration of this invention, it is desirable to make it 5.5nm or less.

[0088] It is the ingredient presentation of a ferromagnetic  $Co100-Y-ZFeYNiZ$  (at%)

It is referred to as  $Y=5Z=20$   $Y+Z=70$  for making the crystal structure into \*\*\*\* or body-centered cubic structure, making it an anisotropy constant, giving the induced magnetic anisotropy more than  $2 \times 10^3$  (J/m<sup>3</sup>) to the sense of the field at the time of membrane formation, and just making a saturation magnetostriction constant it. The magnitude of this anisotropy constant is magnitude which becomes very stable [ the fixed bed ] from a record medium at the field which joins a sensor.

[0089] The ingredient of the ferromagnetic of the one distant from a free layer at least among two ferromagnetics of the laminating ferry fixed bed Considering as the ferromagnetic ingredient which adds a kind of Nb, Zr, Ti, Hf, Ta, W, Mo, V, Cr, aluminum, Pt, Pd, Ir, Rh, Ru, Au, Ag, or the Cu(s) or the element of the class beyond it at the above-mentioned CoNiFe alloy presentation, and is obtained It is for making small the ratio to the current of the whole shunt current which does not contribute to magnetic-reluctance change.

[0090] It is for using the ferromagnetic which adds a kind of aluminum oxide, a zirconic acid ghost, a tantalic acid ghost, a titanic-acid ghost, hafnium oxide, a niobic acid ghost, a chromic-acid ghost, a tungstic-acid ghost, molybdenum oxide, and the banazin san ghosts or the oxide of the class beyond it to the above-mentioned CoNiFe alloy presentation, and is obtained also making small the ratio to the current of the whole shunt current which does not contribute to magnetic-reluctance change.

[0091] The switched connection field  $Hex$  of two ferromagnetics of the laminating ferry fixed bed which carry out antiferromagnetism association mutually is made sufficiently larger than the coercive force  $H_c$  of the permanent magnet film, and the field  $H$  in the case of magnetization of a permanent magnet is made into  $H_c < H < Hex$  for a magnetization community being too large and not giving multi-magnetic-domain structure to the laminating ferry fixed bed.

[0092] Moreover, thickness of the ferromagnetic created previously is thickened below with the thickness difference 1 (nm) from the ferromagnetic created behind. Thereby, even if magnetization of the laminating ferry fixed bed becomes stable in the direction of the impression field at the time of membrane formation and does not have antiferromagnetism switched connection layers, such as FeMn and NiO, it is stable also to the external magnetic field of 40 or more kA/m.

[0093]

[Effect of the Invention] According to this invention, the induced-magnetic-anisotropy constant of the

sensor film is also controlled by impressing the field of suitable magnitude in the desirable direction, in case the presentation of the ferromagnetic which constitutes the fixed bed of the spin bulb sensor film which has the laminating ferry mold fixed bed is chosen appropriately and the sensor film is formed beyond a fixed value, and a saturation magnetostriction constant also controls it by it to a desirable forward value.

[0094] This realizes the easy shaft orientations and the magnitude of a constant of the magnetic anisotropy with which induced magnetic anisotropy and the magnetic anisotropy by the magnetoelastic effect were united in the condition desirable as the laminating ferry fixed bed of a spin bulb sensor.

[0095] By this, the spin bulb sensor of the mold which does not have the switched connection layer of antiferromagnetism, such as FeMn and NiO, in the fixed bed can be created with a sufficient controllability.

[0096] Moreover, a sensor property is improved by using various \*\*\*\*\* ingredients for the ferromagnetic of the laminating ferry fixed bed for an alloying element.

---

[Translation done.]

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2000-113418

(P2000-113418A)

(43)公開日 平成12年4月21日 (2000.4.21)

(51)Int.Cl.<sup>7</sup>

G 11 B 5/39

識別記号

F I

G 11 B 5/39

マークコード(参考)

5 D 0 3 4

審査請求 未請求 請求項の数8 O L (全15頁)

(21)出願番号

特願平10-280099

(22)出願日

平成10年10月1日 (1998.10.1)

(71)出願人 000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(72)発明者 西岡 浩一

神奈川県小田原市国府津2880番地 株式会

社日立製作所ストレージシステム事業部内

(72)発明者 田島 康成

神奈川県小田原市国府津2880番地 株式会

社日立製作所ストレージシステム事業部内

(74)代理人 100078134

弁理士 武 謙次郎

最終頁に続く

(54)【発明の名称】スピンバルブ効果に基づく磁気抵抗効果型ヘッド及びそれを用いた磁気記録再生装置

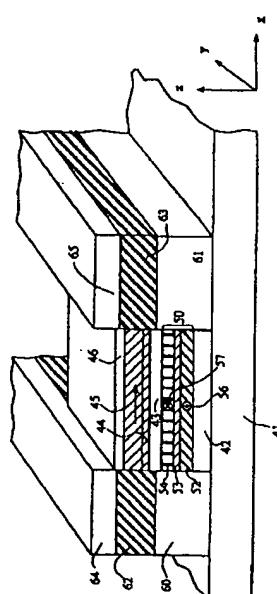
(57)【要約】

【課題】大きな外部磁界に対して安定で、反強磁性交換結合層のない、積層フェリ固定層を有する高感度のスピンバルブセンサまたはヘッドの提供。

【解決手段】第1の強磁性層44, 45と、第2の強磁性層と、第1と第2の強磁性層の間に導電性の非磁性スペーサ層43と、を有するスピンバルブ効果に基づく磁気抵抗効果型ヘッドにおいて、第2の強磁性層は、互いに反強磁性結合された2枚の強磁性膜A52及び強磁性膜B54と、2枚の強磁性膜A及びBを分離する反強磁性結合膜53と、から構成され、強磁性膜Aと強磁性膜Bの誘導磁気異方性定数が $2 \times 10^3$  (J/m<sup>3</sup>)以上であり、且つ強磁性膜Aと強磁性膜Bの飽和磁歪定数が正の値である磁気抵抗効果型ヘッド。強磁性膜Aと強磁性膜Bの組成は、Co<sub>100-y-z</sub>Fe<sub>y</sub>Ni<sub>z</sub> (at%)

Y ≥ 5 Z ≤ 20 Y + Z ≤ 70 である磁気抵抗効果型ヘッド。

【図8】



【特許請求の範囲】

【請求項1】 磁界に対して比較的応答し易い第1の強磁性層と、磁界に対して比較的応答し難い第2の強磁性層と、前記第1の強磁性層と前記第2の強磁性層の間に導電性の非磁性スペーサ層と、を有するスピナルブ効果に基づく磁気抵抗効果型ヘッドにおいて、

前記第2の強磁性層は、互いに反強磁性結合された2枚の強磁性膜A及び強磁性膜Bと、前記2枚の強磁性膜A及びBを分離する反強磁性結合膜と、から構成され、

前記強磁性膜Aと強磁性膜Bの誘導磁気異方性定数が $2 \times 10^3$  ( $J/m^3$ ) 以上であり、且つ前記強磁性膜Aと強磁性膜Bの飽和磁歪定数が正の値であることを特徴とする磁気抵抗効果型ヘッド。

【請求項2】 磁界に対して比較的応答し易い第1の強磁性層と、磁界に対して比較的応答し難い第2の強磁性層と、前記第1の強磁性層と前記第2の強磁性層の間に導電性の非磁性スペーサ層と、を有するスピナルブ効果に基づく磁気抵抗効果型ヘッドにおいて、

前記第2の強磁性層は、互いに反強磁性結合された2枚の強磁性膜A及び強磁性膜Bと、前記2枚の強磁性膜A及びBを分離する反強磁性結合膜と、から構成され、前記強磁性膜Aと強磁性膜Bの組成は、

$Co_{100-y-z}Fe_yNi_z$  (a t %)

$Y \geq 5$

$Z \leq 20$

$Y+Z \leq 70$  であることを特徴とする磁気抵抗効果型ヘッド。

【請求項3】 磁界に対して比較的応答し易い第1の強磁性層と、磁界に対して比較的応答し難い第2の強磁性層と、前記第1の強磁性層と前記第2の強磁性層の間に導電性の非磁性スペーサ層と、を有するスピナルブ効果に基づく磁気抵抗効果型ヘッドにおいて、

前記第2の強磁性層は、互いに反強磁性結合された2枚の強磁性膜A及び強磁性膜Bと、前記2枚の強磁性膜A及びBを分離する反強磁性結合膜と、から構成され、前記強磁性膜Aと強磁性膜Bの組成は、

$Co_{100-y-z}Fe_yNi_z$  (a t %)

$Y \geq 5$

$Z \leq 20$

$Y+Z \leq 70$  であって、前記組成に、Nb, Zr, Ti, Hf, Ta, W, Mo, V, Cr, AlPt, Pd, Ir, Rh, Ru, Au, Ag またはCuのうちの一種またはそれ以上の種類の元素を添加することを特徴とする磁気抵抗効果型ヘッド。

【請求項4】 磁界に対して比較的応答し易い第1の強磁性層と、磁界に対して比較的応答し難い第2の強磁性層と、前記第1の強磁性層と前記第2の強磁性層の間に導電性の非磁性スペーサ層と、を有するスピナルブ効果に基づく磁気抵抗効果型ヘッドにおいて、

前記第2の強磁性層は、互いに反強磁性結合された2枚

の強磁性膜A及び強磁性膜Bと、前記2枚の強磁性膜A及びBを分離する反強磁性結合膜と、から構成され、前記強磁性膜Aと強磁性膜Bの組成は、

$Co_{100-y-z}Fe_yNi_z$  (a t %)

$Y \geq 5$

$Z \leq 20$

$Y+Z \leq 70$  であって、前記組成に、アルミニウム酸化物、ジルコニウム酸化物、タンタル酸化物、チタン酸化物、ハフニウム酸化物、ニオブ酸化物、クロム酸化物、タンゲステン酸化物、モリブデン酸化物、バナジウム酸化物のうちの一種またはそれ以上の種類の酸化物を添加することを特徴とする磁気抵抗効果型ヘッド。

【請求項5】 基板上に形成され、互いに反強磁性結合された2つの強磁性膜A及び強磁性膜Bと、前記2つの強磁性膜A及びBを膜面で分離する反強磁性結合膜と、からなる積層フェリ固定層と、

前記積層フェリ固定層の強磁性膜Bに膜面で隣接して形成された非磁性スペーサ層と、

前記非磁性スペーサ層に膜面で隣接して形成された軟磁気特性を有する強磁性層と、

前記積層フェリ固定層と前記非磁性スペーサ層と前記強磁性層とから構成される一定形状に加工されたスピナルブ膜に、膜断面で隣接するように形成された下地膜を有するCo基永久磁石膜と、

前記永久磁石膜に膜面で隣接する電極膜と、を備えたスピナルブ効果に基づく磁気抵抗効果型ヘッドであつて、

前記強磁性膜Aと強磁性膜Bの誘導磁気異方性定数が $2 \times 10^3$  ( $J/m^3$ ) 以上であり、且つ前記強磁性膜Aと強磁性膜Bの飽和磁歪定数が正の値であることを特徴とする磁気抵抗効果型ヘッド。

【請求項6】 基板と、

前記基板上に形成された軟磁気特性を有する強磁性層と、

前記軟磁気特性を有する強磁性膜に膜面で隣接して形成された非磁性スペーサ層と、

前記非磁性スペーサー層と膜面で隣接する強磁性膜A、前記強磁性膜Aと反強磁性的に交換結合する強磁性膜B、及び前記強磁性膜Aと強磁性膜Bを膜面で分離する反強磁性結合膜、からなる積層フェリ固定層と、

前記強磁性層と前記非磁性スペーサ層と前記積層フェリ固定層とから構成される一定形状に加工されたスピナルブ膜に、膜断面で隣接するように形成された下地膜を有するCo基永久磁石膜と、

前記永久磁石膜に膜面で隣接する電極膜と、を備えたスピナルブ効果に基づく磁気抵抗効果型ヘッドであつて、

前記強磁性膜Aと強磁性膜Bの誘導磁気異方性定数が $2 \times 10^3$  ( $J/m^3$ ) 以上であり、且つ前記強磁性膜Aと強磁性膜Bの飽和磁歪定数が正の値であることを特徴と

する磁気抵抗効果型ヘッド。

【請求項7】 基板上に形成され、互いに反強磁性結合された2つの強磁性膜A及び強磁性膜Bと、前記2つの強磁性膜A及びBを膜面で分離する反強磁性結合膜と、からなる積層フェリ固定層と、

前記積層フェリ固定層の強磁性膜Bに膜面で隣接して形成された非磁性スペーサ層と、

前記非磁性スペーサ層に膜面で隣接して形成された軟磁気特性を有する強磁性層と、

前記積層フェリ固定層と前記非磁性スペーサ層と前記強磁性層とから構成される一定形状に加工されたスピーバルブ膜に、膜断面で隣接するように形成された下地膜を有するCo基永久磁石膜と、

前記永久磁石膜に膜面で隣接する電極膜と、を備えたスピーバルブ効果に基づく磁気抵抗効果型ヘッドであつて、

前記積層フェリ固定層の2つの互いに反強磁性結合する強磁性膜の交換結合磁界 $H_{ex}$ を前記永久磁石膜の保磁力 $H_c$ より十分大きくし、前記永久磁石の着磁の際の磁界 $H$ を、

$$H_c < H < H_{ex}$$

として、磁気記録媒体の対抗面と平行のスピーバルブ膜面内方向に磁界印加して永久磁石膜を着磁することを特徴とする磁気抵抗効果型ヘッド。

【請求項8】 請求項1または2に記載の磁気抵抗効果型ヘッドを読み出しヘッドとして用い、磁気シールドで前記磁気抵抗効果型ヘッドと隔てられた磁気誘導型ヘッドを書き込みヘッドとして用い、前記読み出しヘッドと書き込みヘッドにより磁気記録媒体との情報を授受することを特徴とする磁気記録再生装置。

【発明の詳細な説明】

#### 【0001】

【発明の属する技術分野】スピーバルブ効果に基づく磁気抵抗(MR)効果型ヘッド、このヘッドを用いた磁気記録再生装置、スピーバルブ効果に基づく磁気抵抗(MR)センサに関する。

#### 【0002】

【従来の技術】近年の磁気記録装置の高密度化にともない、再生用のセンサには、異方的磁気抵抗効果を用いた磁気抵抗(MR)センサから、巨大磁気抵抗(GMR)効果を応用したスピーバルブ型磁気抵抗センサに移行しつつある。スピーバルブセンサは米国特許5159513号明細書に開示されている。

【0003】スピーバルブ型磁気抵抗センサの本質的特徴は、固定層(Pinned layer)とよばれる強磁性層と、自由層(Free layer)とよばれる強磁性軟磁性層と、これら2層に直接隣接して挟まれた導電層と、固定層に直接接触する交換結合層が基本構成(即ち、自由層、導電層、固定層、交換結合層という順番の多層構成)で、これらの層に電流を通じる電極

と、バルクハウゼンノイズ(Barkhausen Noise)とよばれる自由層磁化の不均一性に起因するノイズを抑制するための縦バイアス磁界を印加するための縦バイアス層を有する。このセンサは、通常、磁気シールドとよばれる2つの強磁性体で挟まれる微小空間(磁気ギャップと呼ぶ)内に設けられており、記録媒体の磁化信号を高分解能で再生する。

【0004】固定層は、記録媒体対抗面と垂直方向に、磁化が固定されており外部磁界に対して容易にその磁化方向を変化させない。自由層磁化は、記録媒体からの磁界に応じてその向きを変えるため、固定層磁化と自由層磁化のなす角に変化を生じることにより磁気抵抗変化を生じる。この抵抗変化を信号として再生するのがスピーバルブ型ヘッドの動作原理である。

【0005】交換結合層には通常反強磁性材料が用いられ、反強磁性材料としては、センサの動作温度範囲で固定層に与える交換結合磁界が十分大きいことが必要である。今までに知られている反強磁性材料としては、酸化ニッケル(NiO)、鉄-マンガン合金(FeMn)、ニッケル-マンガン合金(NiMn)などがあるが、酸化ニッケルと鉄-マンガン合金は交換結合が消失する温度(ブロッキング温度)が磁気記録装置の動作時のセンサ温度と同程度であるために実用に耐えない。また、ニッケル-マンガン合金は交換結合特性は十分実用に耐えるが、この特性を得るために、摂氏240度以上の高温で長時間の熱処理が必要であり、この熱処理間に自由層への他の材料の拡散が生じ、磁気抵抗効果が減少するという不利益を生じる。

【0006】このような要求の下、米国特許5583752号明細書に示されるように、固定層として、Ruの膜を挟んで強く反強磁性に結合した2つの強磁性膜(以下、積層フェリ型構造とよぶ)を用い、上述の酸化ニッケル等の交換結合層を固定層に隣接させないタイプのスピーバルブ構造が提案されている。この明細書中の実施例において、2つの強磁性膜としてCoを用い、すべての膜を積層した後に固定層の磁化方向を決定することが旨及されている。

【0007】また、Crを下地に用い、強磁性膜としてCoを用い、反強磁性結合膜としてRuを採用した積層フェリ固定層スピーバルブの検討結果がジャーナルオブアプライドフィジクスボリューム83のpp3720~3723に報告されている。

#### 【0008】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、本発明者らの検討によると単体の強磁性Co膜を用いた場合、媒体対抗面と垂直方向に磁化容易方向を設定し、磁化を固定するのが難しいことが分かった。その理由は、Co膜は単元素の膜であるために、磁界による誘導磁気異方性を付与しにくいこと、及びCo膜の飽和磁歪定数が適当な値でないために、磁気弹性効果による磁気異方性が

媒体対抗面と垂直方向に付与されないためである。また、公知例ではすべての膜を積層してから固定層の磁化を決めることが記されているが、すべての膜を積層した後に、固定層を飽和させる磁界を印加し磁化を揃えようすると、磁界を取り去る際に固定層が磁区構造を形成し、目的とは逆に、磁化の均一性が悪化し、スピンドル特性が劣化させる。

【0009】また、Crを下地に用い、強磁性膜としてCoを用い、反強磁性結合膜としてRuを採用した積層フェリ型固定層スピンドルでは、自由層の保磁力が50エルステッド程度と大きいために実用には適さないと考えられる。これは、Cr下地のCoがhcp構造に近いため、その結晶磁気異方性が大きく、また面内でランダムにばらつくために膜面内に磁極が生じ、これら磁極から生じる磁界が自由層の磁化課程に悪影響を及ぼすためと考えられる。

【0010】本発明の目的は、交換結合層のない積層フェリ型固定層を有するスピンドル型センサ又は磁気ヘッドの固定層の磁化を一方向に揃えかつ、高出力化を実現する技術を提供することである。

#### 【0011】

【課題を解決するための手段】前記課題を解決するために、本発明は主として次のような構成を採用する。

【0012】磁界に対して比較的応答し易い第1の強磁性層と、磁界に対して比較的応答し難い第2の強磁性層と、前記第1の強磁性層と前記第2の強磁性層の間に導電性の非磁性スペーサ層と、を有するスピンドル効果に基づく磁気抵抗効果型ヘッドにおいて、前記第2の強磁性層は、互いに反強磁性結合された2枚の強磁性膜A及び強磁性膜Bと、前記2枚の強磁性膜A及びBを分離する反強磁性結合膜と、から構成され、前記強磁性膜Aと強磁性膜Bの誘導磁気異方性定数が $2 \times 10^3$  ( $J/m^3$ ) 以上であり、且つ前記強磁性膜Aと強磁性膜Bの飽和磁歪定数が正の値である磁気抵抗効果型ヘッド。

【0013】また、磁界に対して比較的応答し易い第1の強磁性層と、磁界に対して比較的応答し難い第2の強磁性層と、前記第1の強磁性層と前記第2の強磁性層の間に導電性の非磁性スペーサ層と、を有するスピンドル効果に基づく磁気抵抗効果型ヘッドにおいて、前記第2の強磁性層は、互いに反強磁性結合された2枚の強磁性膜A及び強磁性膜Bと、前記2枚の強磁性膜A及びBを分離する反強磁性結合膜と、から構成され、前記強磁性膜Aと強磁性膜Bの組成は、

Co<sub>100-y-z</sub>Fe<sub>y</sub>Ni<sub>z</sub> (a t %)

Y ≥ 5

Z ≤ 20

Y + Z ≤ 70 であることを特徴とする磁気抵抗効果型ヘッド。

#### 【0014】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施形態を図面を

用いて詳細に説明する。

【0015】「実施形態1」本発明は、外部磁界を検出するために広く適用できるものであるが（例えば、センサとして）、情報記録及び取り出しシステムのための読み出しヘッドとして特に有用なものであり、そこでは、情報は磁性媒体上の磁区の配列として記録されることになっている。磁性媒体としては、どのような種類のものでもよく、例えば、磁気テープ、磁気ドラム、一つまたは複数のハードディスク、あるいは一つまたは一つまたは複数のフロッピーディスク等がある。磁区は、通常、トラックに添って配置され、トラックの構成としては、円環状、渦巻き状、らせん状、もしくは不定長のものがある。

【0016】代表的な情報記録および取り出し装置の一例を図1に示す。汎用計算機1は、ネットワーク、キーボード、スキャナー、もしくはこれら相当のものとの間に1つもしくは複数のインターフェースをもつ入力装置2を介して入力情報を受け取る。計算機は、一つもしくは複数の入力装置への接続に加え、一つもしくは複数の出力装置に出力することが可能である。この出力装置としては、計算機とインターフェースを介して接続する、ネットワーク、プリンタ、表示装置、あるいはモード等が考えられる。計算機1に関連する他の記録装置に加え、計算機は周辺機器である磁気記録装置4へ情報を書き込んだり、磁気記録装置から情報を読み込んだりする。磁気記録装置は次の内部装置を含んでいる。

【0017】(1) 制御装置5：情報信号を書き込みヘッド7に出力し、読み出しヘッド8から情報を入力し、更に、ヘッドからのフィードバック信号を受け取るためのデータの出入力部6を含む。

【0018】(2) ヘッド位置制御部9：ヘッド位置制御信号を出力し、また、ヘッド位置検出信号を入力する。

【0019】(3) モーター制御部10：磁性媒体のヘッドに対する相対的な運動に関する、速度、停止、開始等の操作を制御し、本実施形態の場合、一つあるいは複数のディスク型の磁性媒体13をシャフト12によって回転させるモータ11に、回転制御信号を出力する。各々独立した書き込みヘッド7と読み出しヘッド8とを有するトランステューサーは、ディスク13とかすかに接触するか、わずかの間隙を保ってその上を浮上するよう、連結アーム14とボイスコイルモータ(VCM)15を用いて、通常、ディスクの半径方向に動く。

【0020】上記のように、図1に示したデータ記録装置は、あくまでも代表的なものである。図1に示した装置の操作は自明であるため、ここでその詳細については説明しない。本発明は、図1の読み出しヘッド8の構成に特徴を有するものである。図2に読み出しヘッド8の具体的構造を示す。図1と図2によると、磁性媒体13の一部分が、Z軸に沿って相対的に動く読み出しヘッド

8に対して、相対的な記録媒体の運動方向14を有することを示している。VCM15は相対的に読み出しヘッドと磁区のトラックにアクセスするために、X軸に沿って動く一方、磁区のトラックは、通常、読み出しヘッドに隣接したZ軸に沿って動く。磁性体13は、Z軸方向のトラックに沿って複数の磁区を有し、その磁界hは、VCM15がZ軸に沿って相対的に動くことによって、読み出しヘッドのY軸に沿って変化する。また、この磁界の変動が読み出される。

【0021】書き込みヘッド7と読み出しヘッド8は複数の層から構成され、その構成の一部が図2に示されているが、結合層、パッシベーション層などの従来からあるいくつかの層は図示されていない。製造工程では、まず、基板16を用意し、次にシールド17をその上に堆積させた後、さらにその上に読み出しセンサ18を成長させ、最後に、読み出し電流入力用電極19を読み出し電流出力用電極20をその上に堆積させ、一体として読み出しヘッドを形成する。

【0022】さらに、上部シールドあるいは下部コア21（下部コアが上部磁気シールドを兼用している）を堆積させ、つぎに、コイル22を堆積させ、その上に上部磁気コア24を形成する。例えば、アルミナからなる誘電層23を、センサ膜18と下部シールド17の間及びセンサ膜18と上部シールドの間に形成することが、より好ましい。読み出しセンサ膜であるスピンドル膜18の両脇には継バイアス磁界を与える永久磁石膜31及び32が配置される。

【0023】基板16は、セラミックスまたはセラミックス上に誘電体の膜を堆積したものを用いることができる。上部及び下部磁気シールド21及び17には、パーマロイやセンダストや軟磁性を示すCo基非晶質材料または、軟磁性を示す微結晶系の強磁性材料等を用いることができる。

【0024】本実施形態にて採用した図2に示した構造は、一般的に、既知のものとなっており、本発明の実施形態は、読み出しセンサ18の構成とその形成方法に関するものである。ここで、読み出しヘッドは磁性媒体との情報の授受を行うに適した構成であり、読み出しセンサは磁性媒体からの情報に限らず、外部の磁界を検知するに適した構成である。

【0025】図8に、本発明の実施形態に係る読み出しセンサの具体的構成を示し、その詳細は「実施形態4」で後述するが、図8の構成を参照して説明すると、スピンドル膜18は、磁界に対して比較的応答し易い第1の強磁性層（以下、自由層と呼び、例えばCo膜44及びパーマロイ膜45に相当する）と、磁界に対して比較的応答し難い第2の強磁性層（以下、固定層と呼び、積層フェリ固定層50に相当する）と、これらの間に導電性の非磁性スペーサー層（例えば、Cu膜43に相当する）を有する。

【0026】本実施形態では、固定層50に、2つの強磁性膜（例えば、強磁性膜A52、強磁性膜B54に相当する）とこれらの強磁性膜（52と54）の間に反強磁性結合膜（例えば、Ru膜53に相当する）とを用いた積層フェリ固定層50が、磁気記録装置に用いるためのスピンドル型読み出しヘッドとして機能する構成を与える。

【0027】積層フェリ固定層50の磁化の安定性には、これを構成する2つの強磁性膜の異方性磁界が影響する。異方性磁界の適切な値を求めるために、積層フェリ固定層50の2つの強磁性膜の膜厚差を十分制御可能な有限の値（0.5nm）としたスピンドル膜（強磁性膜A（4.0nm）/Ru（0.6nm）/強磁性膜B（3.5nm）/Cu/自由層（7.0nm））の磁気抵抗曲線を、強磁性膜A及び強磁性膜Bの異方性磁界を変えて計算した。

【0028】ここで、各強磁性膜はそれぞれ一齊回転（coherent rotation）するとし、自由層、強磁性膜A及び強磁性膜Bの飽和磁化を、スピンドルセンサ膜の代表的な値として、それぞれ1.00(T), 1.71(T), 1.71(T)とした。

【0029】また、スピンドルセンサ膜の代表的な値として、自由層の異方性磁界を400(A/m)、強磁性膜Aと強磁性膜B間の交換結合エネルギーを $J_{ex} = -1.12 \times 10^{-3} J/m^2$ （交換結合磁界 $H_{ex} = 192 kA/m$ ）、自由層と強磁性膜B間の交換結合エネルギーを $J_{int} = 7.2 \times 10^{-6} J/m^2$ （層間結合磁界 $H_{int} = 1040 A/m$ ）とした。また、各強磁性膜は一つの方向（記録媒体対抗面と直交する方向）に容易軸を有する一軸磁気異方性を具備するとした。ここで自由層にはパーマロイを、2つの強磁性膜にはCo基材料を想定している。

【0030】計算した磁気抵抗曲線は、磁界を固定層の容易軸に印加した場合の、最大磁界4.8kA/m（情報の記録された磁性媒体からの磁界のセンサ膜18上での平均の強さに略相当する値）のマイナーラープと、最大磁界8.0kA/m（情報の記録された磁性媒体からの磁界のセンサ膜18の媒体対向面での最大値に略相当する値）のメジャーラープである。

【0031】図3に計算結果を示す。図3の $H_k$ は強磁性膜A又はBのそれぞれの異方性磁界の大きさであり、図3の3段目の異方性磁界 $2.4 kA/m$ が後述する異方性定数 $2 \times 10^3 J/m^3$ に相当する値である。また、マイナーラープ $4.8 kA/m$ は、磁気媒体からの磁界の強さを包含するものであり、メジャーラープ $8.0 kA/m$ は、例えば記録媒体からの磁界のセンサ膜18の媒体対向面での最大値を包含するものである。

【0032】強磁性膜A及びBの単独膜の異方性磁界 $H_k$ が $800 A/m$ であって層間結合磁界 $H_{int} = 1040$ より小さい場合、マイナーラープに変化は見られず、

微小磁界を検出するセンサとしては機能しない。

【0033】強磁性膜A及びBの単独の異方性磁界 $H_k$ が $1.6$  (k A/m) であって層間結合磁界 $H_{int}$  1040 (A/m) より大きい場合、マイナーループに急峻な変化が生じており、微小磁界を検出するセンサ (例えば、磁性媒体の情報を検出する磁気ヘッド) としては機能する。また、メジャーループでは約32 (k A/m) 付近で急峻な抵抗変化を生じており、この外部磁界で積層フェリ固定層の磁化反転が起こっている。磁気記録装置では、センサ浮上面側で最大40 (k A/m) 程度の磁界が加わるので、32 k A/mの磁界で固定層磁化が反転するのでは、磁気記録装置用のセンサ膜 (磁気ヘッド) としては固定層の安定性は十分でない。

【0034】強磁性膜A及びBの単独の異方性磁界 $H_k$ が $2.4$  (k A/m) (後述する異方性定数 $2 \times 10^3$  (J/m<sup>3</sup>) に相当する磁界) と大きい場合、マイナーループに急峻な変化が生じ、かつ、メジャーループで見

$$M_{sf}H_{int}t_f < M_{s1}H_{k1}t_1 + M_{s2}H_{k2}t_2 \quad \dots (1)$$

ここで、 $M_{sf}$ 、 $M_{s1}$ 、 $M_{s2}$ はそれぞれ、自由層、強磁性膜A、強磁性膜Bの飽和磁化であり、 $H_{int}$ 、 $H_{k1}$ 、 $H_{k2}$ はそれぞれ自由層、強磁性膜A、強磁性膜Bの単独の異方性磁界であり、 $t_f$ 、 $t_1$ 、 $t_2$ はそれぞれ、自由層、強磁性膜A、強磁性膜Bの膜厚である。

$$40 \text{ (k A/m)} < (M_{s1}H_{k1}t_1 + M_{s2}H_{k2}t_2) / |M_{s1}t_1 - M_{s2}t_2| \quad \dots (2)$$

したがって、積層フェリ固定層の各強磁性膜の単独の異方性磁界は大きい方が、また、両強磁性膜の磁気モーメントの差は小さい方が良い。

【0040】強磁性膜の磁気異方性磁界を決める要素として、結晶磁気異方性、誘導磁気異方性及び磁気弾性効果 (Magnetoelectric Effect) がある。これらのうち、結晶磁気異方性は、多結晶のランダムに配向した結晶を有する膜では、異方性を一軸に揃えるのはむずかしい。また、誘導磁気異方性は、成膜時あるいは熱処理時の磁化の方向に、原子の局所的配列が生じることによって得ることができ、一軸磁気異方性を与える。さらに、磁気弾性効果は、磁性体に加わる異方的応力と磁性体の飽和磁歪定数によって決まり、一軸性の異方的応力の存在下では、一軸磁気異方性を与える。

【0041】センサ膜は膜面内でランダム方位を向く多結晶であることから、プロセス上制御可能なの磁気異方性は、誘導磁気異方性と磁気弾性効果による異方性である。そこで、本実施形態では、制御困難な強磁性膜の結晶磁気異方性をできるだけ小さくし、誘導磁気異方性と磁気弾性効果による異方性によって異方性磁界を制御する。

【0042】アルミニーチタンーカーバイドの基板上にベースとなるアルミニナ膜を有し、その上に磁気シールドとよばれる2つの強磁性体で挟まれる磁気ギャップを有し、磁気ギャップ内に、強磁性膜A (2~5 nm) / R

られる積層フェリ固定層の磁化変化は48 (k A/m) と大きく、大きな外部磁界に対しても固定層は安定であり、磁気記録装置のセンサ膜として十分な機能を有する。

【0035】さらに、強磁性膜A及びBの単独の異方性磁界 $H_k$ が $8$  (k A/m) と大きい場合、マイナーループには急峻な変化が生じ、かつ、メジャーループには微小磁界でのステップ状の抵抗変化以外には変化は認められず、積層フェリ固定層磁化は、80 (k A/m) 以下の磁界でも反転しない。従って、磁気記録装置のセンサ膜として十分な機能を有する。

【0036】以上の結果は、積層フェリ固定層の両強磁性膜の単独の異方性磁界を同じとしているが、一般的に両強磁性膜の異方性磁界が異なる場合、微小磁界センサとして機能するには、次の関係を満足する必要がある。

【0037】

【0038】また、一般には、積層フェリ固定層が記録媒体からの最大磁界に対して安定であるには次の関係を満足する必要がある。

【0039】

$u$  (0.6 nm) / 強磁性膜B (2~5 nm) / Cu / 自由層 (1~10 nm) からなる構成のスピンドルブセンサを含み、磁気シールド上に記録ヘッドエレメントを有する磁気ヘッドにおいては、スピンドルブセンサ膜に記録媒体対抗面と垂直方向に引っ張りの一軸性の応力が加わる。固定層の磁化は記録媒体対抗面と直交する方向に磁化が固定されるべきであるから、強磁性膜の飽和磁歪定数は正にすべきである。

【0043】結晶磁気異方性を小さくするために、強磁性膜をCo合金膜とし、かつ適当な下地膜を用いることによって、その構造を面心立方晶 (fcc) 構造または体心立方晶 (bcc) 構造とする。結晶構造を面心立方構造または体心立方構造とするのは、その対称性から結晶磁気異方性が小さいからである。合金化するための元素と下地膜についての具体的な例は後述する。

【0044】また、誘導磁気異方性の制御は、CoにFe, Ni等を加え、原子のペアオーダーリングによって誘導磁気異方性を大きくことにより実現できる。Co単独で強磁性膜を構成すると誘導磁気異方性を大きくすることはできず、CoにFe, Niを加えることによって誘導磁気異方性を大きくすることができる。

【0045】また、磁気弾性効果の制御は強磁性膜の合金組成の制御、即ちCoにFe, Ni等を加えることにより実現できる。

【0046】「実施形態2」積層フェリ固定層の強磁性

膜にCoを用いたスピナルブ膜として、その組成と膜厚について、ガラス基板/CoX/Ru0.6/Co(X-0.5)/Cu2.3/Co1/NiFe5/Ta3(nm) (前者)、及びガラス基板/Ta5/CoX/Ru0.6/Co(X-0.5)/Cu2.3/Co1/NiFe5/Ta3(nm) (後者) 膜を、膜厚Xを3, 4, 5, 7として、合計8種類の膜を作成した。Co成膜時には一つの方向に磁界を印加した。

【0047】図4の(C)と(D)には、磁気抵抗曲線の例を示す。これらは、X=4の場合の前者(下地無)及び後者(Ta下地)の構成の磁気抵抗曲線である。測定時の磁界は成膜時に印加した磁界と同じ方向とした。

【0048】(C) (D)の曲線は、ゼロ磁界付近に大きなステップ状の抵抗変化は認められず、磁気抵抗センサとして望ましくない。Co膜厚Xを3, 5, 7とした場合も同様に、望ましい磁気抵抗変化は認められず、純Co膜は積層フェリ固定層の強磁性膜として用いるのが難しい。この原因是、純Co膜は単元素のために誘導磁気異方性が小さいこと及び磁歪定数が適切でないためである。

【0049】そこで、適切な誘導磁気異方性を、成膜時の印加磁界方向に生じさせるために、また、磁歪定数を正するために、積層フェリ固定層の強磁性膜をCoFe合金としたスピナルブ膜(ガラス基板/CoX/Ru0.6/Co(X-0.5)/Cu2.3/Co1/NiFe5/Ta3nm (X=3, 4, 5, 7)、及びガラス基板/Ta5/CoX/Ru0.6/Co(X-0.5)/Cu2.3/Co1/NiFe5/Ta3nm膜 (X=3, 4, 5, 7)を作成し、磁気抵抗曲線を測定した。成膜時には先ほどと同様に一方向に磁界を印加し、測定時にはその方向に磁界を印加した。

【0050】その結果例を図4の(A)と(B)に示す。膜構成は(A)が、ガラス基板/Ta5/CoFe4/Ru0.6/CoFe3.5/Cu2.3/Co1/NiFe5.0/Ta3(nm)であり、(B)が、ガラス基板/CoFe4/Ru0.6/CoFe3.5/Cu2.3/Co1/NiFe5.0/Ta3nmである。ここでCoFe膜の組成は、Fe10at%で残部がCoである。磁気抵抗曲線はゼロ磁界付近の小さな磁界でステップ上に変化しており、磁気抵抗センサとして望ましい性能を示す。X=3, 5, 7のCoFe膜厚が異なるスピナルブ膜でも、同様にゼロ磁界付近でステップ上に抵抗変化を示しており、磁気抵抗センサとして望ましい。

【0051】図5にはCo及びFe14at%組成のCoFeの磁化容易軸方向の保磁力の膜厚依存性を示すが、Coでは保磁力が約1.6(kA/m)であるが、CoFeでは保磁力は4から4.8(kA/m)と大きい。この様な保磁力の変化は、Feを添加することにより誘導異方性エネルギーが増大したためであり、Fe添

加による磁気異方性の増加が固定層磁化を安定化し、磁気抵抗センサとしての望ましい性質を与えている。ここでは14at%Fe組成の例を示したが、Fe組成をさらに増やす誘導磁気異方性定数は増大しCo-Fe50wt%付近で最大をとる。

【0052】したがって、Fe組成をさらに増やすのはさらに有効である。また、Niの添加は、異方性エネルギーは低下するが、異方性の分散を小さくし、スキューアを小さくする効果があるために、積層フェリ固定層磁化を均一にし、ある程度の添加は、磁気抵抗効果を大きくする働きを有する。

【0053】積層フェリ固定層を有するスピナルブを固定層を構成する強磁性膜の組成を様々なに変化させた結果、つぎの組成を満足するのが望ましいことが分かった。

【0054】

$$Co_{100-y-z}Fe_yNi_z \quad (at\%) \quad (3)$$

$$Y \geq 5 \quad (4)$$

$$Z \leq 20 \quad (5)$$

$$Y+Z \leq 70 \quad (6)$$

また、これらの合金にPt, Pd, Ir, Rh, Ru, Au, Ag, Cuのうちの一種またはそれ以上を添加することによって、強磁性膜の保磁力を増大する効果を有する。保磁力の増大もまた、積層フェリ固定層の外部磁界に対する安定性を増す効果がある。この組成では、誘導磁気異方性による異方性定数を $2 \times 10^3$ (J/m<sup>3</sup>)以上であり、飽和磁歪定数を正となっている。

【0055】「実施形態3」積層フェリ固定層を用いたスピナルブセンサ膜の固定層の強磁性膜のうちCuに接しない方の強磁性膜Aは磁気抵抗変化に寄与しない。従って、ここを流れる電流は磁気抵抗変化に影響しないシャント電流であり、磁気抵抗変化を減少させる。従って、強磁性膜Aに流れる電流は極力小さくした方が良い。上述の(3)～(6)式組成の強磁性膜は比抵抗が約0.3μΩmと小さく、シャント電流が大きい。電極から流れる全電流の中で強磁性膜Aに流れる電流(磁気抵抗変化に影響ない電流)が大きいと、磁気抵抗効果が小さくなる。

【0056】強磁性膜A(4nm)/Ru(0.6nm)/強磁性膜B(3.5nm)/Cu(2.3nm)/NiFe(7nm)なる構成膜で、全体の電流に対する、強磁性膜B(3.5nm)/Cu/NiFe(7nm)層を流れる電流の比を分流比と定義すると、分流比はセンサの出力に比例する。(3)～(6)式組成の膜を強磁性膜A及び強磁性膜Bに用いた場合、分流比は約0.7となる。ここで強磁性膜Aの比抵抗を例えれば3μΩmと大きくすれば、分流比は約0.9となり、センサの出力は約30%増大する。強磁性膜Aの比抵抗が2μΩmとなっても分流比は0.85になり、センサ出力は約20%増大する。

【0057】積層フェリ固定層の強磁性膜の比抵抗を増大する方法としては、式(3)～(6)で規定される合金にNb, Zr, Ti, Hf, Ta, W, Mo, V, Cr, Alのうちの一種またはそれ以上を添加することである。これにより、分流比が大きくなり、結果としてセンサ出力が増加する。これら元素は材料の構造を非晶質化する働きも強く、非晶質材料を固定層の強磁性膜として用いるのも、非晶質は比抵抗が大きいために、有効である。

【0058】また、積層フェリ固定層の強磁性膜の比抵抗を更に増大する方法としては、式(3)～(6)で規定される合金に、アルミニウム酸化物、ジルコニウム酸化物、タンタル酸化物、チタン酸化物、ハフニウム酸化物、ニオブ酸化物、クロム酸化物、タンクスチタン酸化物、モリブデン酸化物、バナジウム酸化物のうちの一種またはそれ以上の種類の酸化物を添加して得られる強磁性膜を用いることができる。これらの酸化物の添加は10mo1%程度の添加で比抵抗を2(μΩm)程度まで大きくすることができ、センサの出力向上ができる。

【0059】「実施形態4」ガラス上にアルミニナ膜を成膜した基板上に、次に示す構成の積層フェリ固定層スピンバルブを作成し、その固定層の外部磁界に対する安定性を評価した。その構成は、(A)基板/Ta5/CoFeX/Ru0.6/CoFe(X-0.5)/Cu2.3/Co1.0/NiFe5/Ta3(nm)、(B)基板/CoFeX/Ru0.6/CoFe(X-0.5)/Cu2.3/Co1/NiFe5/Ta3(nm)であり、CoFeの膜厚を変化させた。

【0060】ここで、CoFe膜のFe組成はFe14at%で、残部Coである。試料の作成はRFマグネットロングスパッタリングにより行った。このスピンバルブ固定層安定性を固定層磁化と直交方向に磁界を印加して調べた。

【0061】図6に、磁界印加後のスピンバルブ膜の磁気抵抗変化を印加磁界 $H_{dc}$ を横軸にして示す。縦軸の磁気抵抗変化はマイナーループ(測定磁界60Oe)の結果である。Ta下地を有するスピンバルブでは、X=3nmで320kA/mの磁界を印加してもスピンバルブの磁気抵抗は変化しないが、360kA/mの磁化を印加するとスピンバルブの磁気抵抗曲線の抵抗変化は50%に減少し、センサ膜は損傷を受ける。

【0062】この抵抗変化の減少は、強磁界印加後に固定層が多磁区(multipoledomains)構造に変化するためである。センサが損傷を受ける磁界は、Xが4nm、5nm、7nmと大きくなると240kA/m、200kA/m、136kA/mと減少していく。

【0063】図7には固定層の強磁性膜Aと強磁性膜Bの間の反強磁性的交換結合磁界 $H_{ex}$ のCoFe膜厚依存性を示すが、X=3nmでは $H_{ex}=336kA/m$ 、X

=4nmでは $H_{ex}=232kA/m$ 、X=5nmでは $H_{ex}=160kA/m$ 、X=7nmでは $H_{ex}=128kA/m$ である。この値は上述の損傷を受ける磁界とはほぼ同じであり、交換結合磁界を越える外部磁界が印加されるとセンサ膜は損傷を受けることが分かる。損傷を受ける磁界を大きくするには、強磁性膜Aと強磁性膜Bの間の交換結合磁界を大きくするのが望ましい。交換結合磁界をさらに大きくする方法としては、Ru膜厚を最適化(0.4～0.5nm)する方法と、強磁性膜A、Bを薄くする方法がある。

【0064】Ta下地のない固定層を自由層の下側に置いたスピンバルブ(B)では、図6から分かるように、損傷をうける磁界は、X=4nmでは $H_{ex}=280kA/m$ 、X=5nmでは $H_{ex}=224kA/m$ 、X=7nmでは $H_{ex}=160kA/m$ であり、Ta下地がある場合の結果と同じ膜厚同士で比べると、Ta下地がない場合の方がTa下地がある場合に比べて、損傷を受ける磁界が大きくなっている。これは、図7から分かるように、Ta下地がない場合の方がTa下地がある場合に比べて、交換結合磁界 $H_{ex}$ が大きいためである。

【0065】図8には望ましいセンサの構成を示す。センサ膜は、2つの磁気シールドに挟まれた空間にセンサは形成されるが、図8は、磁気シールドを省略して記述している。本実施形態では、磁気シールド間に形成された絶縁膜41上に下地膜Ta膜42を形成する。この膜としては他に、Ti, Hf, Zr, W, V, Nb, Ru, Os, Ir膜またはこれらの内2種以上の合金膜を用いることができる。また、この膜は省略することもできる。これらの膜を用いると、強磁性膜A、Bの誘導磁気異方性を大きくする効果があり、積層フェリ固定層の性能を損なうことなく磁気抵抗効果を大きくできる。

【0066】この上に、強磁性膜Aとして膜厚X(nm)のFe組成14at%のCoFe膜52を形成する。形成時には、y方向に、一方向磁界を印加56し磁気異方性を誘導する。この膜の材料としてCoFeの代わりに「実施形態2」～「実施形態3」で述べた材料を用いることができる。次に膜厚1(nm)以下のRu膜53を形成する。

【0067】次に、強磁性膜Bとして、膜厚Y(nm)のFe組成10at%のCoFe膜54を形成する。このときも、52を形成するときと同様、y方向に一方向磁界を印加57する。この膜の材料としてCoFeの代わりに「実施形態2」～「実施形態3」で述べた材料を用いることができる。強磁性膜A52とRu膜53と強磁性膜B54とで積層フェリ固定層50を構成する。

【0068】次に、膜厚2.0～3.5nmのCu膜43を形成する。この膜の材料としてCuの代わりにAuやAgを用いることができる。

【0069】次に、膜厚2.0nm以下のCo膜44を形成する。この膜の材料としてCoの代わりにCoFe

やCoFeNi合金膜を用いることもできる。次に、膜厚10nm以下のパーマロイ(Fe組成10~30at%のNiFe合金)膜45を形成する。次に、膜厚5nm以下のTaからなるキャップ層46を形成する。

【0070】キャップ層46としてはTa以外の材料、例えばRu, Pd, Pt, Au, Ag, Cu, Ir, Rhまたは、これらのうちの2種以上の合金を用いることもできる。これらの膜は同一真空中で、例えばRFマグネットロンスパッタリング法により作成する。これら42, 52, 53, 54, 43, 44, 45及び46からなるスピナルブ膜の両脇に、Crからなる下地膜60, 61を形成し、その上にCo基の永久磁石膜62, 63を作成する。

$$H_c < H < H_{ex}$$

従って、 $H_{ex}$ は永久磁石の保磁力に比べて十分大きく設計する必要がある。通常永久磁石膜の保磁力としては80kA/m~160kA/mが用いられるので、 $H_{ex}$ としては200kA/m以上が必要となる。これを満足するには、Ta下地なしのスピナルブセンサ膜を用いる場合は、強磁性膜Aの膜厚Xを5.5nm以下に、Ta下地を有するスピナルブ膜を用いる場合、強磁性膜Aの膜厚Xを4.5nm以下にする必要がある。

【0074】また、強磁性膜Aと強磁性膜Bに同じ材料を用いる場合、強磁性膜Bの膜厚Yは強磁性膜Aの膜厚Xより1nm以下の膜厚差で薄くするの望ましい。これは強磁性膜Aより強磁性膜Bの方が厚くなると、強磁性膜Bの成膜の終期に強磁性膜Bの磁化の磁界エネルギーを安定化すべく回転し、固定層磁化が所望の方向から外れるためである。

【0075】「実施形態5」図9には別のセンサの構成を示す。センサ膜は、2つの磁気シールドに挟まれた空間にセンサは形成されるが、本図は磁気シールドを省略して記述している。本実施形態では、磁気シールド間に形成されたアルミナ膜71上に下地膜Ta膜72を形成する。この膜としては他に、Ti, Hf, Zr, W, V, Nb, Ru, Os, Ir膜またはこれらの内2種以上の合金膜を用いることもできる。この上に、膜厚10nm以下のパーマロイ(Fe組成10~30at%のNiFe合金)膜75を形成する。

【0076】次に、膜厚2nm以下のCo膜74を形成する。この膜の材料としてCoの代わりにCoFeやCoFeNi合金膜を用いることもできる。次に、膜厚2.0~3.5nmのCu膜73を形成する。この膜の材料としてCuの代わりにAuやAgを用いることもできる。次に、強磁性膜Aとして膜厚X(nm)のFe組成14at%のCoFe膜82を形成する。形成時には、y方向に、一方向磁界を印加し磁気異方性を誘導する。この膜の材料としてCoFeの代わりに「実施形態2」と「実施形態3」で述べた材料を用いることもできる。

【0071】さらに、その上にスピナルブ膜に電流を通じるための電極膜64, 65を形成する。ここで、永久磁石膜としては、CoCrPt、CoPtまたはCoCrTaなどが用いられる。また、Co-ZrO<sub>2</sub>のように、下地膜がなくても十分な保磁力を与える場合、Cr下地膜を省略することもできる。永久磁石膜は、センサの完成後に、45の矢印方向に磁界を印加して着磁する必要がある。

【0072】ここで、積層フェリ固定層50の反誘導結合磁界を $H_{ex}$ とし、永久磁石膜の保磁力を $H_c$ とし、着磁の際に素子に加わる正味の印加磁界を $H$ とするとき、正味の印加磁界は次の関係を満足する必要がある。

【0073】

..... (5)

【0077】次に膜厚1(nm)以下のRu膜83を形成する。次に、膜厚Y(nm)のFe組成14at%のCoFe膜84を形成する。このときも、82を形成するときと同様、y方向に一方向磁界を印加する。この膜の材料としてCoFeの代わりに「実施形態2」と「実施形態3」で述べた材料を用いることもできる。次に、膜厚5nm以下のTaからなるキャップ層76を形成する。キャップ層としてはTa以外の材料、例えばRu, Pd, Pt, Au, Ag, Cu, Ir, Rhまたは、これらのうちの2種以上の合金を用いることもできる。

【0078】これらの膜は同一真空中で、例えばRFマグネットロンスパッタリング法により作成する。これら72, 82, 83, 84, 73, 74, 75及び76からなるスピナルブ膜の両脇に、Crからなる下地膜90, 91を形成し、その上にCo基の永久磁石膜92, 93を作成する。

【0079】さらに、その上にスピナルブ膜に電流を通じるための電極膜94, 95を形成する。ここで、永久磁石膜としては、CoCrPtやCoPtやCoCrTaなどが用いられる。また、Co-ZrO<sub>2</sub>のように、下地膜がなくても十分な保磁力を与える場合、Cr下地膜を省略することもできる。また、実施形態4と同様、交換結合磁界 $H_{ex}$ は永久磁石膜の保磁力より大きくする必要がある。また、この実施形態においても、実施形態4と同様、強磁性膜Aと強磁性膜Bに同じ材料を用いる場合、強磁性膜Bの膜厚Yは先に成膜する強磁性膜Aの膜厚Xより1nm以下の膜厚差で薄くするの望ましい。

【0080】以上、本発明について、種々の実施形態を説明したが、これを取りまとめると、次のような構成、作用乃至機能を奏するものが本発明の実施形態として含まれるものである。

【0081】スピナルブセンサ又はヘッドでは、固定層磁化を媒体対抗面垂直に設定するのが望ましい。そのために、成膜時に媒体対抗面垂直方向に磁界印加して、強磁性膜の磁化容易軸を設定する。異方性定数Kuの大

きさは  $2 \times 10^3$  ( $J/m^3$ ) 以上とする。そして、強磁性膜の飽和磁歪定数を正にする。また、強磁性膜の結晶磁気異方性を小さくすることによって固定層面内に生じる磁極を小さくする。

【0082】結晶磁気異方性を小さくし、誘導磁気異方性による異方性定数を  $2 \times 10^3$  ( $J/m^3$ ) 以上に制御し、飽和磁歪定数を正にするために、強磁性膜を Co を含む合金膜とし、その組成を次式を満足する組成とする。即ち、次の組成を構成として採用すれば、前述の機能を満足するものとなるのである。

【0083】 $Co_{100-y-z}Fe_yNi_z$  (at%)

$Y \geq 5$

$Z \leq 20$

$Y + Z \leq 70$

また、スピンドルブローブ膜の成膜時の磁界を 10 (媒体対向面に垂直方向) の方向に印加することで、磁化容易軸を媒体対向面垂直方向に設定する。磁界の大きさは単体強磁性膜の異方性磁界即ち、 $2 Ku/Ms$  の 2~4 倍が適切である。ここで、Ms は強磁性膜の飽和磁化である。また、2 つの強磁性膜の先に成膜する膜を、後で成膜する膜の膜厚よりある程度厚くする。

【0084】また、センサの出力をさらに、増大する方法として、積層フェリ固定層の二つの強磁性膜の内、少なくとも自由層から遠い方の強磁性膜の材料を、上記の CoNiFe 合金組成に、Nb, Zr, Ti, Hf, Ta, W, Mo, V, Cr, Al, Pt, Pd, Ir, Rh, Ru, Au, Ag または Cu のうちの一種またはそれ以上の種類の元素を添加して得られる強磁性材料とする。

【0085】センサ出力を更に増大する別の方法としては、上記の CoNiFe 合金組成に、アルミニウム酸化物、ジルコニウム酸化物、タンタル酸化物、チタン酸化物、ハフニウム酸化物、ニオブ酸化物、クロム酸化物、タンクスチタン酸化物、モリブデン酸化物、バナジウム酸化物のうちの一種またはそれ以上の種類の酸化物を添加して得られる強磁性膜を用いることである。これらの酸化物の添加は  $10 mol\%$  程度の添加で比抵抗を  $2 (\mu\Omega m)$  程度まで大きくすることができ、センサの出力向上ができる。

【0086】また、自由層の磁区制御するためにスピンドルブローブ膜の両脇に縦バイアスを付与する永久磁石膜を設ける場合、永久磁石膜を着磁するための磁界を加える際に、積層フェリ固定層の強磁性膜が磁気飽和すると、磁界を取り去った後に、固定層が多磁区化するためにセンサの感度が低下するという問題がある。

【0087】この様な固定層の多磁区化を避けるためには、積層フェリ固定層の 2 つの互いに反強磁性結合する強磁性膜の交換結合磁界  $H_{ex}$  を永久磁石膜の保磁力  $H_c$  より十分大きくし、永久磁石の着磁の際の反磁界を除く正味の磁界  $H$  を

$H_c < H < H_{ex}$

とするのが望ましい。そのためには、 $H_{ex}$  をできるだけ大きくするために、強磁性膜 A, B の膜厚を薄くするのが望ましい。本発明の構成においては、5.5 nm 以下にするのが望ましい。

【0088】強磁性膜の材料組成を、

$Co_{100-y-z}Fe_yNi_z$  (at%)

$Y \geq 5$

$Z \leq 20$

$Y + Z \leq 70$

とするのは、結晶構造を面心または体心立方構造とし、成膜時の磁界の向きに異方性定数にして  $2 \times 10^3$  ( $J/m^3$ ) 以上の誘導磁気異方性を付与し、飽和磁歪定数を正にするためである。この異方性定数の大きさは、記録媒体からセンサに加わる磁界にたいして固定層が安定となる大きさである。

【0089】積層フェリ固定層の二つの強磁性膜の内、少なくとも自由層から遠い方の強磁性膜の材料を、上記 CoNiFe 合金組成に、Nb, Zr, Ti, Hf, Ta, W, Mo, V, Cr, Al, Pt, Pd, Ir, Rh, Ru, Au, Ag または Cu のうちの一種またはそれ以上の種類の元素を添加して得られる強磁性材料とするのは、磁気抵抗変化に寄与しないシャント電流の全体の電流に対する比率を小さくするためである。

【0090】上記の CoNiFe 合金組成に、アルミニウム酸化物、ジルコニウム酸化物、タンタル酸化物、チタン酸化物、ハフニウム酸化物、ニオブ酸化物、クロム酸化物、タンクスチタン酸化物、モリブデン酸化物、バナジウム酸化物のうちの一種またはそれ以上の種類の酸化物を添加して得られる強磁性膜を用いるのも、磁気抵抗変化に寄与しないシャント電流の全体の電流に対する比率を小さくするためである。

【0091】積層フェリ固定層の 2 つの互いに反強磁性結合する強磁性膜の交換結合磁界  $H_{ex}$  を永久磁石膜の保磁力  $H_c$  より十分大きくし、永久磁石の着磁の際の磁界  $H$  を、

$H_c < H < H_{ex}$

とするのは、着磁界が大きすぎて、積層フェリ固定層に多磁区構造を与えないようにするためである。

【0092】また、先に作成する強磁性膜の厚さを、後に作成する強磁性膜より、膜厚差 1 (nm) 以下で厚くする。これにより積層フェリ固定層の磁化は、成膜時の印加磁界の方向に安定となり、FeMn や NiO などの反強磁性交換結合層がなくても、 $40 kA/m$  以上の外部磁界に対しても安定である。

【0093】

【発明の効果】本発明によれば、積層フェリ型固定層を有するスピンドルブローブセンサ膜の固定層を構成する強磁性膜の組成を適切に選択し、センサ膜を成膜する際に適切な大きさの磁界を望ましい方向に印加することで、セン

サ膜の誘導磁気異方性定数も一定の値以上に制御し、飽和磁歪定数も望ましい正の値に制御する。

【0094】これにより、誘導磁気異方性と磁気弾性効果による磁気異方性をあわせた磁気異方性の容易軸方向とその定数の大きさを、スピナルバ尔斯センサの積層フェリ固定層として望ましい状態に実現する。

【0095】これによって、固定層に、FeMnやNiOなどの反強磁性の交換結合層を有しない型のスピナルバ尔斯センサを、制御性良く作成することができる。

【0096】また、積層フェリ固定層の強磁性膜に添加元素を各種加え得た材料を用いることで、センサ特性を向上する。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施形態に係る、磁気記録再生装置の概略を示す図である。

【図2】本発明のスピナルバ尔斯センサを用いた磁気記録再生装置用磁気ヘッドを示す図である。

【図3】積層フェリ固定層を有するスピナルバ尔斯膜の磁気抵抗曲線図であり、前記固定層を構成する強磁性膜の異方性磁界を変えた複数の場合についての磁気抵抗曲線図である。

【図4】積層フェリ固定層の強磁性膜に14at%Fe組成のCoFeを用いた場合と、Coを用いた場合のスピナルバ尔斯膜の磁気抵抗曲線を示す図であり、(A)はTa下地膜を有し、CoFeを強磁性膜に用いた場合の磁気抵抗曲線図であり、(B)はTa下地膜なしで、CoFeを強磁性膜に用いた場合の磁気抵抗曲線図であり、(C)はTa下地膜なしで、Coを強磁性膜に用いた場合の磁気抵抗曲線図であり、(D)はTa下地膜を有し、Coを強磁性膜に用いた場合の磁気抵抗曲線図である。

【図5】Co膜及び14at%FeからなるCoFe膜の保磁力の強磁性膜厚依存性を示す図であり、基板にはガラス基板を用い、下地膜として、Ta膜がある場合とない場合についての図である。

【図6】積層フェリ固定層の強磁性膜に14at%Fe組成のCoFeを用いたスピナルバ尔斯の外部磁界に対するセンサ膜の安定性を示す図であり、縦軸には素子の磁

気抵抗変化を、横軸には固定層の容易軸と直交方向に印加した磁界の強さを示し、CoFe強磁性膜の膜厚を変えた複数の場合について調べた結果を示す図であり、下地Ta膜がある場合とない場合についての結果を示した図である。

【図7】膜厚X (nm) のCoFe強磁性膜と膜厚(X-0.5) (nm) のCoFe強磁性膜を膜厚0.6 (nm) のRu膜で挟んだ構成の積層フェリ固定層の交換結合磁界H<sub>ex</sub>の膜厚X依存性を示す図であり、Ta下地膜がある場合と無い場合の結果を示す図である。

【図8】積層フェリ固定層を用いたスピナルバ尔斯センサの構造を示す図である。

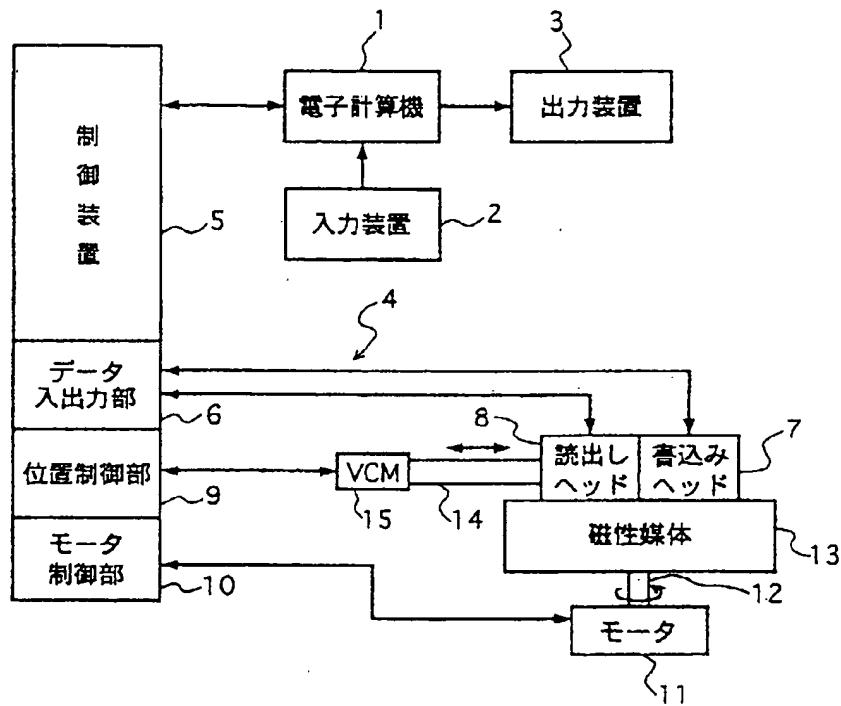
【図9】積層フェリ固定層を用いたスピナルバ尔斯センサの図7とは異なる構造を示す図である。

#### 【符号の説明】

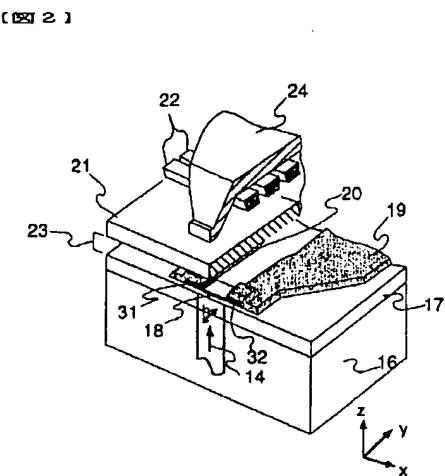
1 6	基板	1 7, 2 1	磁気シールド
1 8	スピナルバ尔斯膜	1 9, 2 0	電極
2 2	コイル	2 3	再生ギャップ
2 4	磁気コア	3 1, 3 2	永久磁石膜
4 1	絶縁膜	4 2	下地膜
4 3	非磁性導電膜	4 4	Co膜
4 5	パーマロイ膜	4 6	キャップ
5 0	積層フェリ固定層	5 2	強磁性膜
5 3	反強磁性結合膜	5 4	強磁性膜
5 6, 5 7	磁化方向膜	6 0, 6 1	下地膜
6 2, 6 3	永久磁石膜	6 4, 6 5	電極
7 1	絶縁膜	7 2	下地膜
7 3	非磁性導電膜	7 4	Co膜
7 5	パーマロイ膜	7 6	キャップ
8 0	積層フェリ固定層	8 2	強磁性膜
8 3	反強磁性結合膜	8 4	強磁性膜
8 6, 8 7	磁化方向膜	9 0, 9 1	下地膜
9 2, 9 3	永久磁石膜	9 4, 9 5	電極

【図1】

【図1】



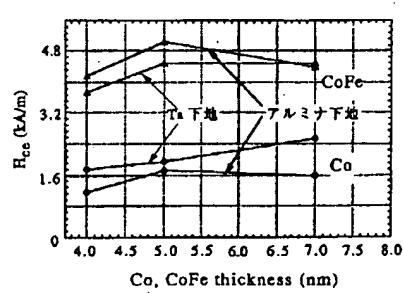
【図2】



【図5】

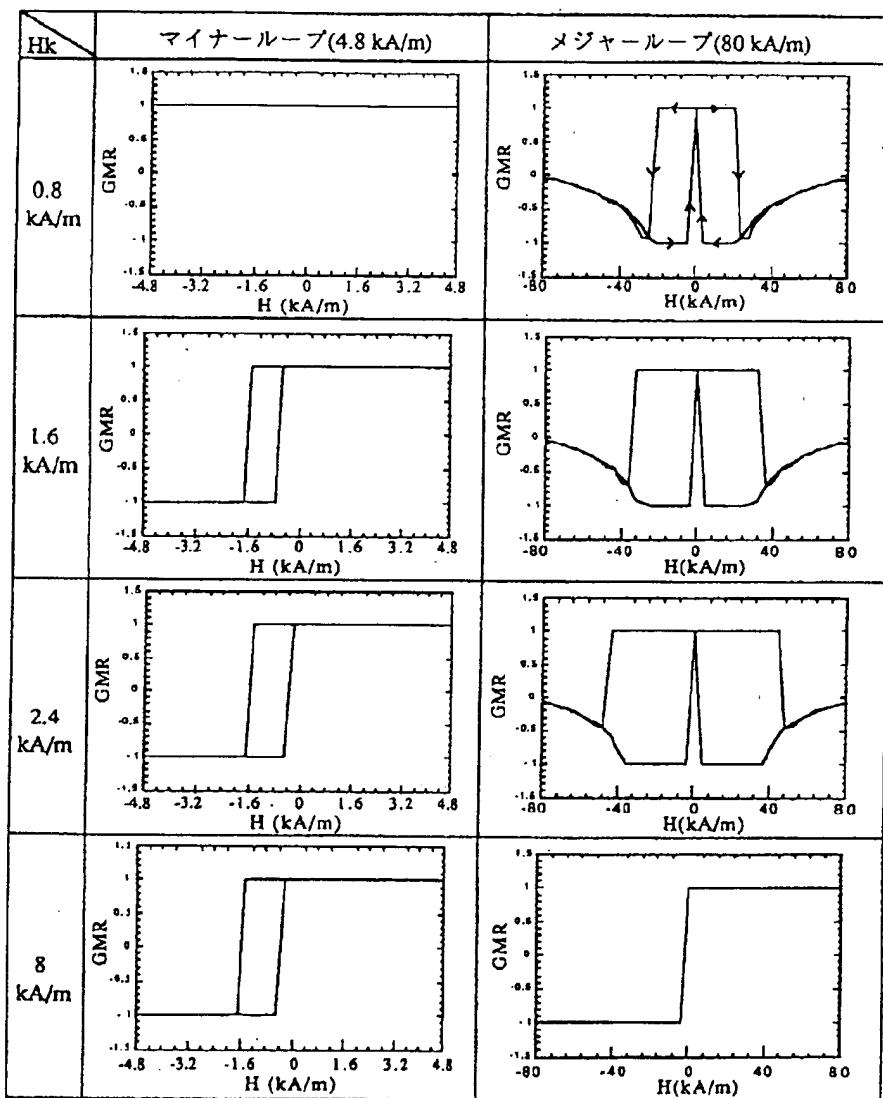
【図2】

【図5】



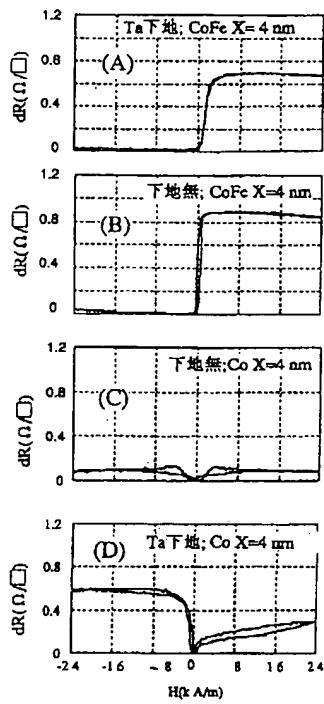
【図3】

【図3】



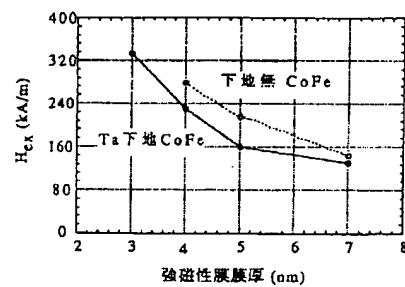
【図4】

【図4】



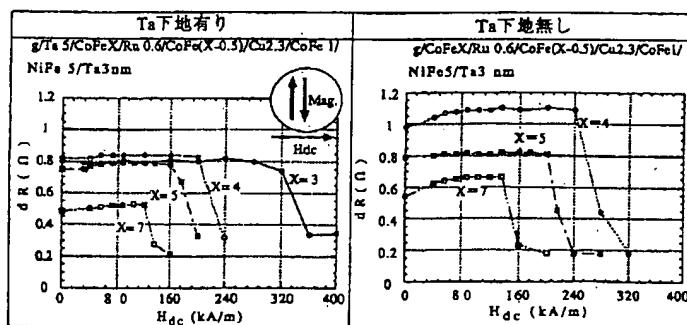
【図7】

【図7】



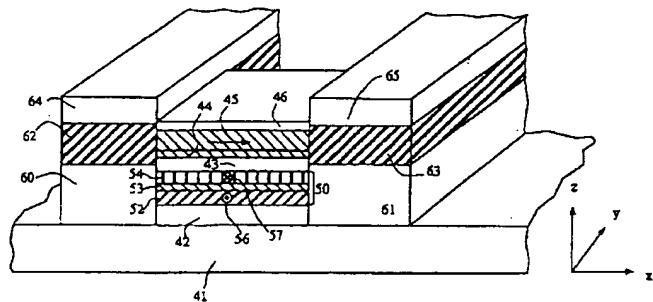
【図6】

【図6】



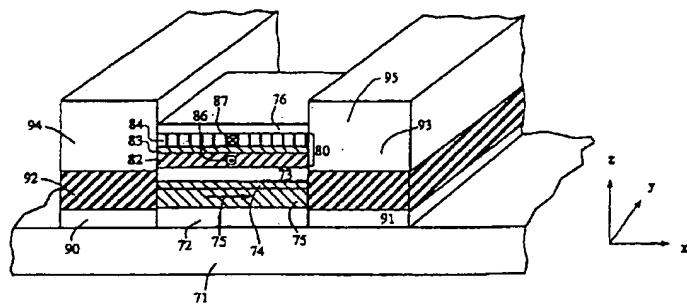
【図8】

【図8】



【図9】

【図9】



---

フロントページの続き

(72)発明者 今川 尊雄

神奈川県小田原市国府津2880番地 株式会  
社日立製作所ストレージシステム事業部内

(72)発明者 成重 真治

神奈川県小田原市国府津2880番地 株式会  
社日立製作所ストレージシステム事業部内  
Fターム(参考) 5D034 BA03 BA05 BA15 BB01 CA04